MÉMOIRE
SUR LA CONSTRUCTION
DE LA COUPOLE,
PROJETTÉE
POUR COURONNER LA NOUVELLE ÉGLISE
DE SAINTE GENEVIEVE
A PARIS;

Ou il est question de prouver que les PILIERS déja exécutés & destinés à porter cette COUPOLE, n'ont point les dimensions nécessaires pour espérer d'y élever un semblable OUVRAGE avec solidité.

PROBLESME ADRESSÉ A TOUTES LES SOCIÉTÉS SAVANTES,

AUX INGENIEURS, AUX ARCHITECTES,

Et à ceux qui se connoissent en construction.

PAR M. PATTE, ARCHITECTE DE S. A. SÉRÉNISSIME MONSEIGNEUR LE DUC RÉGNANT DE DEUX-PONTS.



A AMSTERDAM,

ET SE TROUVE A PARIS,

Chez P. FR. GUEFFIER, au bas de la rue de la Harpe.

M. DCC. LXX.

AVANT-PROPOS.

Quelque peu vraiſemblable qu'il ſoit que l'on ait entrepris une Coupole auſſi importante que celle de la nouvelle Egliſe de Sainte Génevieve, ſans avoir donné à ſes principaux ſupports les proportions convenables pour aſſurer ſa ſolidité, c'eſt ce dont il ne ſera gueres permis de douter après la lecture de ce Mémoire. Si quelqu'un venoit ſérieuſement propoſer d'élever ſur un mur iſolé de trois pieds neuf pouces d'épaiſſeur, & de quatre-vingt pieds d'élévation, un autre mur de plus de huit pieds d'épaiſſeur par le bas, & de quarante pieds de haut, avec l'obligation de faire encore ſoutenir à l'extrêmité de ce dernier la pouſſée de deux grandes voûtes, il ne pourroit à coup ſûr y avoir qu'une voix pour condamner l'exécution d'un pareil ouvrage. Voilà cependant, dans toute ſa ſimplicité, le ſujet de notre problême. Le mur iſolé de trois pieds neuf pouces, & de quatre-vingt pieds d'élévation, eſt la proportion des piliers de l'Egliſe de Sainte Génevieve, déja exécutés & deſtinés à porter ſon dôme : le mur, de plus de huit pieds d'épaiſſeur, eſt celui que les principes établis pour la pouſſée des voûtes, joint aux exemples de conſtruction, néceſſitent de donner pour contreventer une Coupole de ſoixante-

trois pieds de diametre, comme celle en question. Est-il vrai, en effet, qu'on ne puisse se dispenser de donner au moins huit pieds d'épaisseur au bas de la tour du dôme qu'il s'agit d'élever au centre de l'Eglise de Sainte Géneviève? Telle est la question que nous allons développer, en nous appuyant sur des faits simples, & dont on ne puisse contester la vérité.





MÉMOIRE SUR LA CONSTRUCTION DE LA COUPOLE, PROJETTÉE POUR COURONNER LA NOUVELLE ÉGLISE DE SAINTE GENEVIEVE A PARIS.

C'est une des obligations que nous avons au progrès des Siences, que de nous avoir mis en état de pouvoir apprécier d'avance une infinité d'opérations dans lesquelles on ne savoit se conduire précédemment qu'en tâtonnant, ou qu'en laissant le hasard l'arbitre du succès. Entre tous les arts, il y en a peu d'aussi propre à être éclairé que celui de la construction. Comme il y est sans cesse question d'élever des corps les uns au-dessus des autres, de faire porter des fardeaux, de contreventer des poussées de voûtes, ainsi que de soutenir, soit des plans inclinés, soit des surfaces horisontales ou perpendiculaires, il s'ensuit que tous ces objets étant susceptibles de rapports ou de considérations relatives aux loix de l'équilibre & de la pesanteur, appartiennent de toute nécessité aux Mathématiques, & principalement à la Méchanique, c'est-à-dire peuvent être appréciés par ses régles.

Plusieurs de nos Savans ont plus d'une fois traité ces importantes

matieres. M. Parent a fait voir, dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences, de 1704*, ce que c'est que la poussée d'une voûte, comment ses différents voussoirs agissent relativement à leur position; la clef sur les contre-clefs; les contre-clefs sur les voussoirs adjacents, & ainsi des autres jusqu'à leur retombée sur les piédroits, & enfin il a déterminé quel rapport a la poussée d'une voûte, eu égard au poids de la voûte entiere.

M. de la Hyre, dans son *Traité de Méchanique*, avoit déja démontré la disposition que l'on pouvoit donner aux voussoirs d'une voûte pour la rendre durable, & ce même Académicien a résolu depuis, dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences, de 1712*, le problême de la méchanique des voûtes dans toute son étendue, & a donné des régles précises pour trouver en toutes occasions la force que doivent avoir les piédroits, ou les murs de soutennement d'une voûte pour résister à la poussée.

La plupart de ceux qui ont écrit sur la Méchanique, ont depuis examiné les mêmes questions sur la poussée des voûtes, & sur les puissances en équilibre qu'il convient de lui opposer suivant les circonstances, & ont trouvé des résultats semblables, bien qu'ils se fussent servis de procédés différents pour y parvenir: ainsi il ne sauroit y avoir de doute sur la certitude des principes qui servent à établir les épaisseurs des piédroits des voûtes; ce sont des vérités Mathématiques.

Voici en général comme les Géométres s'y sont pris pour déterminer l'épaisseur du support d'une voûte ou la résistance en équilibre avec sa poussée. Ils ont considéré la demi-voûte où se fait d'ordinaire la rupture, comme un seul voussoir agissant à cause de sa forme de coin contre sa moitié inférieure jointe à tout le piédroit pour le renverser; & par la comparaison des rapports de la surface de ce voussoir avec le diamétre de la voûte, la nature de sa courbe, la longueur de sa clef, la hauteur du piédroit, & même des différents poids dont ce piédroit pouvoit être chargé suivant les circonstances, ils ont trouvé par les régles de la Méchanique, les expressions algébriques des puissances qu'il convient d'opposer, dans tous les cas, à ces différents efforts pour être en équilibre avec eux. (1)

(1) Dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, *années* 1704, 1712, 1726, 1727, 1728, 1729, 1730; *dans le troisiéme tome du Traité de la coupe des pierres, de M. Frezier*, *chap.* XII, ainsi que dans la *Science des Ingénieurs, de M. Belidor, l. II*, on trouve développées toutes les circonstances de la méchanique des voûtes.

C'eſt donc en nous appuyant ſur les principes reconnus univerſellement, touchant la pouſſée des voûtes, & en les faiſant marcher en parallele avec les proportions des meilleures conſtructions de même genre, que nous nous propoſons, ſuivant la promeſſe que nous en avons faite *page 285 de nos Mémoires ſur les objets les plus importants de l'Architecture* (1), d'examiner l'exécution du dôme projetté pour couronner l'Egliſe de Sainte Génevieve, & de comparer les dimenſions des ſupports qui lui ſont deſtinés relativement à la pouſſée & à ſon poids.

En conſéquence, nous allons expliquer d'abord l'eſſence de la conſtruction d'une coupole élevée ſur des pendentifs, & quel doit être le rapport ou l'enchaînement de ſes différentes parties pour avoir la ſolidité requiſe; & afin de confirmer par des exemples ce que nous dirons à ce ſujet, nous en ferons remarquer l'application dans la conſtruction des ouvrages les plus eſtimés en ce genre.

Enſuite nous examinerons comparativement aux principes reconnus & aux exemples propoſés, ſi l'on peut eſpérer d'élever un dôme ou une voûte, ſoit ſphérique, ſoit ſphéroïde, avec une apparence de ſuccès, au centre de l'Egliſe de Sainte Génevieve, ſur les piliers déjà exécutés.

ARTICLE PREMIER.

De la Conſtruction des Coupoles élevées ſur des Pendentifs.

UNE Coupole placée ſur des pendentifs à la rencontre des bras de la croix d'une Egliſe, eſt par ſon plan un cercle inſcrit dans un quarré ou un octogone preſque toujours irrégulier, dont le tambour ou la tour ne porte que ſur quatre points, ſoit au milieu des côtés du quarré, ſoit au milieu des grands côtés de l'octogone. Or ces grands côtés étant d'ordinaire ouverts par des arcades, il réſulte qu'une coupole, vû ſa poſition, ſe trouve alors ſoutenue au-deſſus des voûtes d'une Egliſe préciſément ſur la clef des arcs formant la réunion des bras de la croix, & par des encorbellements au droit des angles, ſi c'eſt un quarré; & au droit des petits côtés, ſi c'eſt un octogone irrégulier.

Avant de déterminer les dimenſions des piliers du rez-de-chauſſée

(1) Cet ouvrage ſe vend à Paris chez Rozet, Libraire, rue S. Séverin, ainſi que les *Monuments élevés en France à la gloire de Louis XV*, du même Auteur.

d'une Eglise, destinés à porter une coupole, il faut auparavant décider le diamétre de sa tour, sa décoration, son épaisseur, la hauteur de ses pié-droits, & la courbe de sa voûte ou de ses voûtes, si l'on en veut admettre deux: car il est évident que ce n'est que par la connoissance de ce qui sera porté que l'on peut parvenir à établir sûrement la solidité des supports: en user autrement, ce seroit opérer au hasard.

Les Architectes employent différents procédés pour terminer les coupoles. Les uns les exécutent avec une seule voûte: les autres les font à double voûte: D'autres ajoutent quelquefois au-dessus un dôme de charpente pour couronner leur extérieur. On exécute aussi différemment les tambours; tantôt on contient l'effort des voûtes, en construisant leur mur d'une épaisseur uniforme, tantôt au contraire on distribue au pourtour de la tour, des contreforts vers lesquels on rejette tout le poids & la poussée: ce sont des raisons de construction qui occasionnent ces variétés. Comme notre intention n'est pas de donner ici un traité de la Méchanique de toutes les espéces de voûtes, mais seulement de mettre chacun à portée d'apprécier l'insuffisance des piliers de l'Eglise de Sainte Génevieve pour porter un dôme dans le cas le plus favorable, nous nous borneront à démontrer quelles doivent être les dimensions des supports d'une coupole simple, en nous servant de principes de la certitude desquels on ne puisse douter.

Une coupole étant d'ordinaire un morceau de décoration destiné à faire l'ornement d'une Ville, & à annoncer de loin sa magnificence, la forme n'en sauroit être absolument arbitraire; & ce n'est qu'autant que l'on parvient à lui donner un aspect gracieux sans sortir du caractère convenable à sa destination, c'est-à-dire à un Temple, que l'on réussit. On a déjà tant construit de ces ouvrages qu'on est en quelque sorte d'acord sur ce qui constitue leur vraie beauté. Si l'on fait la voûte d'une coupole plein ceintre ou surbaissée, il est d'expérience qu'elle aura l'air écrasé & sans agrément, si au contraire on la tient d'une courbe très allongée, alors elle dégénerera en un large clocher, ou un espéce de pyramide de mauvais goût & sans proportion. Entre ces deux extrêmes, & pour éviter l'inconvénient du pesant ou du mesquin, il y a sans doute un milieu à saisir.

Fontana, savant Architecte du siècle dernier a donné dans son Ouvrage intitulé: *Descriptione del Tempio Vaticano, l. V. Ch. XXIV*, des régles sûres pour trouver les proportions les plus agréables des coupoles simples,

afin

afin de produire à la fois un bon effet en dedans & en dehors ; comme il feroit difficile de rien ajouter à ce qu'il a dit à ce fujet, d'après les meilleurs modèles d'Italie, nous ne pouvons mieux faire que de le rapporter.

Après avoir établi le diamétre CC, *planche I, figure I*, du tambour d'une coupole, la grande corniche A, & la proportion du piédeftal intérieur ou focle B, il faut prendre pour hauteur de la décoration du dehors du tambour, la longueur de fon demi-diamétre total, c'eft-à-dire, y compris fon épaiffeur de mur ou de piédroit, que l'on trouvera comme il fera dit ci-après ; & en divifant cette hauteur trouvée DE en quatre parties égales, les trois fupérieures DD donneront l'élévation des colonnes ou pilaftres avec leur entablement, & la quatrieme reftante DE fera pour celle du piédeftal, à moins que les toits de l'Eglife n'y mettent obftacle. Le demi-diamétre du dedans-œuvre de la coupole donnera au contraire la proportion de la décoration intérieure du tambour : en plaçant cette moitié fur le piédeftal B, on obtiendra fa hauteur totale, dans laquelle fera comprife le petit piédeftal F deftiné à recevoir la voûte.

On parviendra enfuite à déterminer la courbe de la coupole que l'on conftruit d'ordinaire en briques, en divifant le diamétre du dedans du tambour en 12 parties égales, & en portant une de ces parties au-deffus du petit piédeftal F, en G, la droite GG coupant à angles droits l'axe de la coupole, fera la ligne diamétrale où l'on établira fes différents centres. Pour les trouver, du point d'interfection H, il faut tracer un demi-cercle I, I, puis porter de part & d'autre du point H, & du fommet de ce demi-cercle une des 12 parties en queftion, & en tirant les lignes KI, K'I, on aura la largeur de l'œil de la lanterne vers le haut de la voûte : après cela, en partageant H K en deux également, on aura quatre points K, L, L', K', dont les deux K, K' ferviront à tracer chaque côté de la courbe intérieure M de la voûte, & les deux autres ferviront à tracer la courbe extérieure N, dont la naiffance fera une retraite convenable en dehors fur le piédeftal qui la reçoit (3), laquelle courbe N fe divifera en trois parties, dont l'inférieure indiquera la place d'un des cercles de fer O. Quant à la proportion de la lanterne R, on la fixera en lui donnant pour

(3) Il eft à obferver que Fontana ne parle pas pofitivement de l'épaiffeur de la voûte, mais que dans fon deffein il lui donne par le bas, la moitié de l'épaiffeur du mur de la tour, allant toujours en diminuant jufqu'au col de la lanterne, où cette épaiffeur fe trouve réduite prefqu'au quart de celle du mur de la tour : proportion qui nous paroît ne pouvoir s'écarter de la vérité, eu égard à l'ifolement de la voûte, au poids de la lanterne qu'il fait porter fur fon fommet, & à tous les exemples de voûtes expofées aux injures du temps.

hauteur, sans comprendre la boule & la croix, le quart du diamétre intérieur CC.

Enfin on aura l'épaisseur P du tambour, nécessaire pour contreventer la coupole, en partageant le diamétre CC de son dedans-œuvre en 10 parties égales, & en donnant à son mur uniformément une de ces parties; & pour ce qui est de l'épaisseur du piédestal Q ou F, qui porte la naissance de la voûte, il suffira de lui donner les trois quarts d'une des 10 parties en question.

Pour appuyer l'épaisseur qu'il assigne au mur pourtour d'une coupole, Fontana cite plusieurs dômes de Rome où ces régles se trouvent en quelque sorte observées, tels que la coupole de S. André *della Valle*, qui a intérieurement 74 palmes & demie de diamétre, & 7 palmes & demie d'épaisseur de mur, c'est-à-dire, un peu plus de la dixiéme partie de son diamétre (4).

La coupole *di S. Carlo à Catinari*, qui a 72 palmes de diamétre, & des murs épais de 7 palmes un quart.

La coupole *della Madona de Miracoli*, qui a 78 palmes trois quarts de diamétre; & 7 palmes deux tiers d'épaisseur.

La coupole de l'Eglise de Jésus, qui a 78 palmes de diamétre, avec des murs de 7 palmes trois quarts d'épaisseur.

La coupole *di Santa Margarita in monte Fiascone*, qui a 115 palmes de diamétre, avec des murs construits de tuf, lesquels ont 13 palmes un quart d'épaisseur, c'est-à-dire, environ la neuviéme partie de son diamétre (5). D'après ces proportions fondées sur l'expérience, cet Architecte conclud qu'on ne sauroit se dispenser de donner au moins pour épaisseur aux murs destinés à porter les coupoles simples sur pendentifs, la dixiéme partie de leur diamétre intérieur, pourvû toutefois, dit-il, qu'ils soient construits de bons matériaux bien durs; que quand on voudra les bâtir en pierres legéres, il sera à propos de leur donner au moins la neuviéme par-

(4) La palme a huit pouces, 3 lignes, 6 points, du pied de Roi.

(5) On peut ajouter à ces exemples, que le Dôme de Sainte Marie des Fleurs à Florence, qui est un octogone portant uniformément sur ses gros piliers, a 182 palmes de diamétre, & 24 palmes d'épaisseur de mur pourtour, ce qui en fait environ la septiéme partie; & que le dôme du Panthéon à Rome, dont le diamétre est 193 palmes 2 tiers, à des murs pourtour de 30 palmes d'épaisseur, c'est-à-dire, de plus du sixiéme de son diamétre.

Dans le cours de nos voyages en Italie, en Angleterre, en Hollande, dans une partie de la France & de l'Allemagne, nous avons beaucoup examiné la construction de la plupart des coupoles & des voûtes sphériques ou sphéroïdes, élevées dans ces différents pays, & nous n'en avons pas remarqué de quelque étendue dont l'épaisseur des murs, lorsqu'elle est uniforme, ne fût à peu près le dixiéme de leur diamétre.

tie de leur diamétre ; & qu'enfin, pour contenir des coupoles à double voûtes, il faudra encore donner davantage d'épaisseur à leurs murs.

Si, de ces preuves de fait, on passe aux préceptes que fournit la Méchanique pour déterminer l'épaisseur du mur qui doit porter à rez-de-chaussée une voûte sphérique ou sphéroïde dont on connoît le diamétre, la courbe de la voûte, le poids dont elle peut être chargée à son sommet, & la hauteur des piédroits, on trouve que ces sortes de voûtes poussent environ la moitié moins que celles en berceau simple, de même nature, diamétre, épaisseur ou charge, & que par conséquent, en ne donnant à leurs murs ou piédroits, que la moitié de l'épaisseur des voûtes en berceau, conditionnées de même, ils auront toute la force nécessaire pour être en équilibre avec la poussée. C'est de cette maniere que M. Frezier, dans le troisiéme Tome de son *Traité de la coupe des pierres*, *Chapitre XII*, considére la poussée des voûtes sphériques & sphéroïdes : il la rapporte à l'action qu'exerce contre ses supports, une voûte en arc de cloître dont le plan seroit composé d'une infinité de côtés devenus si petis qu'ils seroient sensiblement confondus avec le cercle dans lequel le polygone seroit inscrit.

Faisons l'application de ces principes à la voûte de Fontana, pour découvrir le rapport de sa régle pratique avec la Théorie, & en quoi l'épaisseur de son piédroit différe de celle assignée pour l'équilibre : on y parviendra en fixant le diamétre de cette voûte, son épaisseur & la hauteur de ses piédroits. Soit le diamétre 63 pieds, la courbe de la voûte surmontée d'un douziéme, la hauteur des piédroits 36 pieds, & l'épaisseur réduite pour la demi-voûte 24 pouces, ce qui fera à peu près 18 à 20 pouces vers le col de la lanterne ; dimension qui est démonstrative relativement aux circonstances. En effet, l'épaisseur d'une voûte isolée sur ses supports & exposée par sa grande élévation à toutes les injures de l'air, doit être nécessairement bien différente de celle d'une voûte à couvert sous un toît de charpente, & dont les reins peuvent être fortifiés de toutes parts : elle se doit régler encore par son étendue, & par la considération du fardeau qu'elle sera contrainte de porter sur son sommet : il faut qu'elle soit en état de soutenir une couverture de plomb, la lanterne qui la couronnera, la neige qu'elle sera quelquefois obligée de recevoir ; en un mot qu'elle soit capable de résister à la violence des ouragans & aux autres causes physiques qui peuvent concourir à sa destruction. Il est évident que toutes

ces considérations exigent de tenir une voûte extérieure beaucoup plus épaisse que lorsqu'elle est à l'abri, & qu'elle n'a point d'inconvéniens à prévenir (6). En faisant les calculs de cette voûte, comme si elle étoit seulement en berceau surmonté, on trouvera, par l'application de la formule donnée par Belidor dans *sa Science des Ingénieurs*, *Liv. II.* 9 pieds d'épaisseur de piédroit pour puissance en équilibre, & en prenant la moitié de cette mesure, attendu que la voûte qui fait l'objet de notre examen, est spheroïde, on aura pour l'épaisseur cherchée, du piédroit, 4 pieds 6 pouces (7).

Mais, comme l'on sait que dans la pratique, l'épaisseur indiquée par la Méchanique ne suffit pas, il sera à propos d'ajouter en sus, afin que la puissance résistante soit supérieure à celle qui doit agir. Quand les voûtes ont à peu près 7 ou 8 toises de diamétre, il est d'usage d'augmenter cette épaisseur d'environ un pied, & de donner davantage, à proportion que la grandeur de la voûte s'accroît, ou que des circonstances locales paroissent le demander, comme pourroit être le cas d'une coupole portée en l'air sur 4 points quelquefois à plus de 100 pieds: car il n'est pas douteux que son exécution ne demande bien d'autres considérations, à cause de sa position extraordinaire, que si elle étoit placée à rez-de-chaussée, sans sujettion quelconque. En se contentant d'augmenter seulement d'un pied l'épaisseur du piédroit 4 pieds 6 pouces, pour se mettre en force au-dessus de l'équilibre; & en ajoutant encore 6 pouces au moins, tant à cause de la position de la voûte sur pendentifs & du poids de la lanterne que nous n'avons pas fait entrer dans les calculs, lequel en agissant sur son sommet, éloignera son centre de gravité, qu'à cause des impressions de l'humidité, qui, en s'incorporant aisément dans les pores d'une voûte extérieure, la surcharge souvent d'un poids très-considérable, & augmente en conséquence l'effort contre ses piédroits, il s'ensuit que l'épaisseur cherchée de la tour ne sauroit s'écarter de 6 pieds, & que la régle de Fontana, en indiquant de donner 6 pieds 3 ou 4 pouces dans

(6) M. Couplet dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences de* 1729, a essayé de déterminer par une formule la moindre longueur des voussoirs d'une voûte en pierre, pour qu'elle puisse se soutenir en équilibre par l'énergie seule de ses parties, & a fait voir qu'une voûte de 28 pieds de diamétre, éxigoit 17 pouces 10 lignes $\frac{1}{4}$ d'épaisseur; c'est pourquoi en nous bornant à donner à peu près la même épaisseur au sommet d'une voûte sphéroïde qui auroit trois fois plus d'étendue, on ne sauroit nous soupçonner d'exagerer.

(8) A la fin de ce Mémoire on trouvera la solution de ce probléme.

le cas actuel, c'eſt-à-dire le dixiéme du diamétre, 63 pieds, doit être regardée comme une pratique excellente, d'accord avec la théorie, & qu'il ne pourroit être que dangereux de reſtraindre (8).

Nous n'avons parlé juſqu'ici que de l'épaiſſeur uniforme qu'il convient de donner aux murs pourtours d'une coupole élevée ſur pendentifs, pour réſiſter également à ſon action; mais ce procédé n'a gueres lieu que pour des dômes d'un diamétre peu conſidérable; car, lorſqu'ils deviennent d'une certaine grandeur, ou qu'ils doivent être à double-voûte, on trouve beaucoup plus d'avantage d'y repartir des contre-forts, vers leſquels on rejette par des lunettes ou des arcs en décharge tout l'effort, & que l'on conſidére alors comme autant de tranches perpendiculaires comprenant toutes la clef, & allant correſpondre aux côtés oppoſés du diamétre. La tour portant preſque de toutes parts à faux ſur le plan inférieur de l'Egliſe, on parvient par le moyen des contre-forts à alléger le fardeau; & au lieu de le laiſſer porter au haſard ſur les encorbellements, on ſe rend maître de le diriger à volonté vers les endroits les plus ſolides ou les plus capables de réſiſter, tels que les arcs des bras de la croix, & les maſſifs des gros piliers, ſans compter que par leur ſecours on vient à bout de lier le mur de la tour avec les piliers, ce qui n'eſt pas poſſible autrement. On établit l'épaiſſeur des contre-forts, en calculant l'action que la portion de voûte correſpondante peut exercer contre chacun, en ayant égard, comme de coutume, à la nature de la courbe du dôme, à ſon diamétre, à ſon épaiſſeur, & au fardeau dont il peut être chargé.

Tout le poids & la pouſſée d'une coupole étant par ce procédé rejettés vers des points d'appui principaux, il eſt manifeſte que leur épaiſſeur doit être plus grande que ne ſeroit celle des murs, ſi la voûte y étoit ſoutenue également, & que même cette épaiſſeur doit varier ſuivant les circonſtances particulieres de leur largeur ou de leur eſpacement. C'eſt pourquoi, comme il ne ſauroit y avoir de régles préciſes à cet égard, nous nous bornerons à remarquer que lorſqu'un plan eſt circulaire, il faut bien ſe garder de trop eſpacer les contre-forts, de crainte qu'à cauſe de

(8) Les Italiens eſtiment que la rupture ne ſe fait pas toujours au milieu de la demi-voûte lorſque le piédroit eſt trop foible; mais qu'elle s'opére auſſi quelquefois vers ſon tiers inférieur, & que parconſéquent il eſt plus ſûr de la conſidérer depuis cet endroit. Relativement à cette obſervation qui nous a été faite par le Pere Boſcovich, Correſpondant de l'Académie des Sciences; il réſulte que la ſurface du vouſſoir qui agit contre le piédroit devenant plus conſidérable, on trouve une épaiſſeur plus grande ſuivant cette maniere de calculer.

ſon effort excentrique ; la voûte ne ſouffle dans leur intervalle ; que, quand on les eſpace du double de leur largeur, leur épaiſſeur eſt à peu près ſemblable à celle donnée par les formules pour les voûtes en berceau de même nature, diamétre, épaiſſeur & charge, & qu'enfin dans tous les exemples de conſtruction de ce genre, jamais l'épaiſſeur des contre-forts n'eſt au-deſſous du huitiéme de leur diamétre intérieur, ainſi qu'on le verra par la ſuite.

Pour ce qui eſt des murs compris dans leur intervalle, ce ſont des conſidérations particuliéres qui déterminent leur épaiſſeur, telles que la ſaillie des pendentifs, ou l'obligation dans laquelle ils ſe trouvent de ſoutenir des platebandes, des ſaillies de corniche, &c.

L'épaiſſeur uniforme des piédroits, ou celle des contre-forts néceſſaires pour ſoutenir la pouſſée d'une coupole, étant décidée, on ajoute au-delà les décorations d'Architecture, & l'on place vers le bas de la tour un eſpéce de ſoubaſſement ou grand piedeſtal qui lui ſert particuliérement de fondation, & qui comprend tant en dedans qu'en dehors toutes les ſaillies. A l'aide de cet arrangement on vient à bout, malgré la différence des plans ſupérieurs & inférieurs, de réunir toutes les parties de la tour, & de les empêcher d'agir ſéparément ſur les encorbellemens & ſur les gros piliers de l'Egliſe.

Mais, de même que dans le bas de toutes les fondations ordinaires, on met de bons empatemens ou des corps avancés pour fortifier leur aſſiéte ſur le ſol, il n'eſt pas moins eſſentiel d'en placer au bas de la tour d'un dôme ſur pendentifs à ſa jonction avec les voûtes des bras de la croix, dans l'intervalle d'un pilier à l'autre, & c'eſt proprement ce qu'on appelle *contreventer* (9). On emploie pour cela quatre différens procédés : le premier conſiſte à diſtribuer de diſtance en diſtance autour du piédeſtal des éperons dirigés vers l'axe du dôme que l'on lie quelquefois entre eux par des arcs renverſés ; c'eſt ainſi qu'on en a uſé à S. Paul de Londres, dont on voit le profil du bas de la tour A, *figure* *, *plan-*

(9) On ſentira l'obligation de fortifier la fondation de la tour d'un dôme ſur pendentifs, en faiſant attention que dans toutes les voûtes la pouſſée agit de préférence contre le pied extérieur de ſon piédroit ou de ſes contreforts ; endroit que les Méchaniciens ont appelié pour cela *l'Hypomochlion* ou le point d'appui de la puiſſance. On lit dans la *Science des Ingénieurs de Belidor Liv. II, page 29*, un exemple qui prouve combien il eſt dangereux de ne pas fortifier le bas des piédroits d'une voûte, & qu'il a été témoin de la chûte d'un magaſin à poudre bien conſtruit & avec des murs d'une bonne épaiſſeur pour réſiſter à la pouſſée, uniquement parce qu'on avoit négligé la précaution d'y former des empatemens.

che. I: le second à laisser uniformément tout au pourtour un large empatement, tel que celui B, *fig.* *, lequel a lieu au bas de la coupole de l'Eglise de S. Ignace à Rome: le troisiéme à rejetter par des arcs-boutans toujours dirigés vers le centre, l'effort du bas de la tour contre les massifs voisins, comme on l'a pratiqué au dôme des Invalides C, *fig.* *: enfin le quatriéme procédé qui est le plus ordinaire, & dont on a fait usage à S. Pierre de Rome D, *fig.* * consiste à contreventer le bas du piedestal par une forte voûte en berceau, placée le long des bras de la croix, & appuyée vers l'extrémité opposée par un bon mur; laquelle voûte fait alors précisément l'office d'un contrefort placé horisontalement, & embrassant le pourtour du ventre du piedestal entre les piliers. Il ne subsiste pas d'exemples où l'on n'ait contreventé le pied des coupoles de l'une de ces maniéres; & l'on ne sauroit s'en dispenser que dans le cas où, à raison du grand relief des décorations d'Architecture au-delà de l'épaisseur nécessaire des piédroits, le piedestal auroit par lui-même une saillie suffisante pour opérer cet effet.

Après avoir fixé les proportions du tambour d'une coupole, & être convenu de la maniére de le contreventer, il faut disposer les gros piliers d'une Eglise, qui sont d'ordinaire cantonnés dans les angles de la croix, de maniere à pouvoir porter ce fardeau considérable avec solidité. Nous avons dit qu'un dôme sur pendentifs étoit soutenu sur la clef des arcs formant la réunion des bras de la croix, & dans les angles par des encorbellements. Cette position, en indiquant comment doit agir le dôme contre ses piliers, fait voir conséquemment comment se peuvent considérer leurs dimensions pour résister à ses efforts. Puisqu'une partie du dôme doit être portée sur la clef des arcs, il est donc essentiel de construire ces arcs en pierre dure, de même que leurs piédroits, & d'une proportion relative au fardeau: leur largeur est toujours donnée par l'épaisseur du bas du piédestal qui éléve la tour; la hauteur de clef par le poids qu'ils doivent recevoir; & l'épaisseur desdits piédroits convenables pour contenir des arcs aussi chargés, se trouve par les calculs: il ne peut y avoir de doute à ce sujet; toujours dans un édifice les parties inférieures & supérieures doivent avoir une certaine correspondance qui garantisse leur solidité.

Quant à l'action des pendentifs contre le pilier du côté de l'intérieur du dôme, il n'est pas moins évident que la partie de la tour portant à faux au-dessus de cet endroit & agissant du côté du pan-coupé, ne fasse

aussi de très-grands efforts pour le renverser, & qu'ainsi il ne lui faille uniformément dans cette direction une épaisseur suffisante pour résister. Dans les exemples on remarque que cette épaisseur est toujours deux & trois fois plus considérable que la saillie de l'encorbellement; & par les calculs on trouve qu'il la faut plus d'une fois & demie: mais nous ne nous arrêterons pas à cette spéculation, parce qu'elle devient d'ordinaire inutile, quand on a donné une largeur suffisante à chaque côté du pilier en retour des bras de la croix, vû qu'en prolongeant cette épaisseur de façon à se rencontrer à angle droit derriere le pan-coupé du pilier, on obtient les dimensions dont on a besoin pour contenir l'action d'une coupole dans tous les sens (10).

Tels sont les principes généraux qui constituent la bonne & solide construction des supports d'un dôme sur pendentifs, & leur relation avec sa tour. Ils sont absolument les mêmes que pour l'exécution des bâtimens ordinaires, où le fort doit toujours porter le foible, où toutes les parties supérieures doivent être soutenues sur les inférieures sans porter à faux; où tout en un mot doit être élevé depuis les plus basses fondations jusqu'au faîte avec empatement, en retraite ou en talud, & de maniere que ce qui porte ait sans cesse un caractere de solidité apparente par rapport à ce qui est porté. Les piédroits d'une coupole sont nécessités à avoir une épaisseur proportionnée à l'étendue de la voûte & à sa poussée: le bas des piédroits demande à être acôté à cause du changement de plan, comme le sont toutes les fondations. Les quatre points d'appui, c'est-à-dire la clef des grands arcs des bras de la croix, sont obligés d'avoir une hauteur & une largeur correspondantes avec le poids du dôme & l'épaisseur de ses piédroits ou contreforts: Enfin chacun des gros piliers de l'Eglise ne peut se dispenser d'avoir d'abord une largeur positive le long de la nef au moins égale à l'arc destiné à porter la tour sur son sommet, c'est comme une jambe sous poutre qui doit monter de fond sans interruption; & ensuite d'avoir une épaisseur cubique ou

(10) Il faut bien se garder de confondre les proportions d'un pilier destiné à porter un cul de four ou une calotte sur pendentifs avec celle d'un pilier destiné à porter une tour de dôme de même diamétre aussi sur pendentifs. Dans le premier cas, en construisant les voûtes des bras de la croix en berceau & d'une certaine épaisseur, on peut par ce moyen rejetter tout l'effort de la poussée du cul de four contre les murs des extrémités de l'Eglise, comme il a été pratiqué à S. Roch, à S. Sulpice & ailleurs, alors le pilier ne faisant plus que la fonction de porter n'a pas besoin d'autant de force que dans le second où il est d'obligation de porter & de contrebuter à la fois le poids du dôme: c'est pourquoi il ne sauroit y avoir de comparaison.

massive, capable de s'opposer, non-seulement au poids extraordinaire, placé directement sur l'arc qu'il soutient, mais encore à celui placé en encorbellement au droit du petit côté de l'octogone. Ce sont là les régles que l'on trouve mises en œuvre, dans les ouvrages des Michel Ange, des Fontana, des Wren, des Mansards & des plus habiles constructeurs : Il ne sauroit y en avoir d'autres qui ne dérogent au bon sens & à la solidité (11). On en va juger par l'exposé des rapports de construction des coupoles les plus estimées que nous considérerons, en faisant abstraction de la nature de leurs voûtes, pour généraliser nos principes.

Le dôme de S. Pierre de Rome a 127 pieds de diamétre, avec 16 contre-forts de 21 pieds d'épaisseur, sans leurs décorations d'Architecture, lesquels sont distants l'un de l'autre d'environ quatre fois leur largeur; l'épaisseur du mur, entre ces points d'appui capitaux, est égale à la saillie des pendentifs, de sorte que les contre-forts au-dessus de ces endroits portent à plomb du massif des piliers, ce qui lie la tour du dôme avec eux. La tour est élevée sur un grand piédestal de 27 pieds d'épaisseur, embrassant tous les murs & les saillies quelconques, tant intérieures qu'extérieures, dont le pied est contre-venté le long des bras de la croix par une voûte D, *fig.* * *pl. I.* de près de 7 pieds d'épaisseur vers la clef: l'arc de la rencontre des bras de la croix a en retour, ainsi que son piédroit, 29 pieds de largeur, sur près de 57 pieds d'épaisseur. On peut voir *pl. II, fig. XI.* les rapports des parties supérieures & inférieures de cet ouvrage (12).

Le dôme de S. Paul de Londres a 102 pieds de diamétre : comme le plan de la rencontre des bras de la croix est un octogone régulier, la saillie des pendentifs est peu considérable dans les angles; les contre-forts de la tour sont au nombre de 24, y compris 8 corps de maçonnerie cantonnés à plomb des gros piliers, & ont 14 pieds d'épaisseur,

(11) Le Pere Guarini, Architecte Italien, ayant entrepris au commencement de ce siécle d'élever une vaste coupole pour couronner l'Eglise de S. Philippe de Néri à Turin, & ayant négligé de donner à ses supports les dimensions nécessaires, l'on sçait que sa voûte tomba le 30 Mars 1715, peu après son exécution, & entraîna la chûte de toute l'Eglise.

(12) Ce fut Bramante qui donna le premier dessein de S. Pierre, & l'on peut dire qu'il entreprit ce Monument sans avoir étudié les dimensions qui convenoient à ses supports pour porter & contreventer sa coupole : aussi les quatre arcs des bras de la croix furent-ils à peine décintrés qu'ils menacerent de renverser les piliers : il fallut doubler leurs proportions; & ce fut Michel Ange qui, plus éclairé que ses contemporains, eut enfin la gloire de donner à ce premier édifice de l'Univers la solidité qui lui manquoit. Lorsque ce dernier fut chargé de cet important ouvrage, il fit en 15 jours un modèle qui ne couta, dit-on, que 25 écus Romains, lequel fut trouvé si bien entendu pour la construction, que, bien que la coupole n'ait été exécutée que plus de 30 ans après sa mort, on ne crut pas devoir y rien changer. *Voyez les descriptions de S. Pierre par Fontana & Bonani*

sans compter trente-deux éperons, d'environ 8 pieds de saillie sur 4 pieds d'épaisseur, servant à contreventer le bas de la tour, & qui sont liés de l'un à l'autre par deux arcs renversés : on peut remarquer leur disposition sur le plan en A, *pl. II, fig. X*, & leur élévation en A, *pl. I, fig.* *. La largeur de l'arc & celle des piliers du dôme le long des bras de la croix, est 26 pieds. L'épaisseur de ces piliers est percée très-industrieusement par les bas-côtés qui se réunissent de part & d'autres dans chaque angle par un cul-de-four en voussure, qui rejette tout l'effort de la partie de la coupole correspondante contre un gros massif qui est addossé. Il est à observer qu'on n'a donné une aussi grande largeur le long de la nef à ces piliers, qu'afin de les mettre en état de porter & de contreventer eux seuls tout le dôme, vu que les voûtes des bras de la croix étant construites à la légére & non en berceau, ne pouvoient être d'aucun secours à cet égard (13).

Le dôme de la Sorbonne à Paris, *fig. VIII, pl. II*, a 38 pieds de diamétre : il a 8 contre-forts de 6 pieds d'épaisseur, portés sur les grands arcs seulement, & non sur les pendentifs : ils sont distans l'un de l'autre d'environ trois fois leur largeur : l'épaisseur du mur de la tour du dôme est à peu près égale à la saillie des pendentifs : le bas de son piédestal est fortifié par une voûte solide : l'arc a 6 pieds & demi, & la largeur des piédroits peut être considérée comme ayant au-delà de 7 pieds.

Le dôme du Val-de-Grace, *fig. IX, pl. II*, a 51 pieds de diamétre, & 16 contre-forts de plus de 8 pieds d'épaisseur, espacés l'un de l'autre de deux fois & demi leur largeur : l'épaisseur du mur de la tour est encore égale à la saillie des pendentifs, de sorte que les contre-forts placés au droit des piliers portent, comme à S. Pierre, immédiatement sur leur massif : le bas du piédestal est contreventé par les voûtes des bras de la croix : l'arc a environ 9 pieds, & la largeur des piliers, est de 10 pieds.

(13) Nous avons entrepris exprès le voyage d'Angleterre pour étudier cet admirable construction, dont nous espérons faire part des détails au Public. L'Auteur de ce Monument fut le Chevalier Wren, à la fois grand Géométre & habile Architecte, deux qualités très-compatibles, bien qu'elles se trouvent rarement réunies. Les Anglois, pour honorer le mérite de cet homme célébre, lui ont accordé le Privilége exclusif, ainsi qu'à sa famille, d'être inhumé daus ce Temple. Son Tombeau consiste en une tombe avec son seul nom, auprès de laquelle on lit l'inscription suivante qui est d'une simplicité vraiment sublime :

Subtùs conditur
Hujus Ecclesiæ & urbis conditor
Christophorus Wren
qui vixit annos ultrà nonaginta,
non sibi, sed bono publico :
Lector, si Monumentum requiris
CIRCUMSPICE.
Obiit XXV Feb. Anno M DCC XXIII.

Le dôme des Invalides a 73 pieds de diamétre ; *fig. VII*, *pl. II*; ses contre-forts ont 10 pieds, & sont placés à plomb des gros piliers : ses pendentifs n'ont gueres que 4 pieds de saillie : à plomb de la clef des arcs, il y a un piédroit dont l'épaisseur est environ le dixiéme du diamétre : la tour est élevée sur un soubassement de 10 pieds d'épaisseur, dont le bas est contreventré par des arc-boutants au droit du vuide des bras de la croix, & en outre accoté par des voûtes solides : on voit en C, *pl. I*, *fig.* * cet arrangement. Enfin la largeur des piliers de l'Eglise est d'environ onze pieds.

Nous n'avons point parlé de l'épaisseur de la plupart des piliers, parce qu'à l'exception de ceux de S. Pierre, l'épaisseur des autres n'est pas bien distincte dans le bas de l'Eglise, & se confond soit avec les murs de séparation des chapelles, soit avec d'autres parties adjacentes entre lesquelles elle se trouve comme enclavée. Cependant, sans beaucoup d'erreur, les piliers du Val-de-Grace peuvent être considérés comme ayant plus de 14 pieds d'épaisseur ; ceux de la Sorbonne au moins 12 pieds ; ceux des Invalides environ 15 pieds ; & ceux de Saint Paul de Londres, bien qu'ils n'ayent en apparence que 10 pieds, peuvent être appréciés avoir plus de 26 pieds d'épaisseur, en les prenant à l'endroit de leur massif, c'est-à-dire, au-dessus des arcades qui leur sont adossées, & qui les lient avec les grands corps de maçonnerie où sont pratiqués des escaliers.

TABLE de comparaison entre les dimensions des ouvrages précédents.

	Diamétres. des Dômes.	Hauteurs sous les Coupoles.	Largeurs des Piliers.	Epaisseurs des Piliers.	Epaisseurs des Contre-forts.
S. Pierre de Rome.	... 127 *pi*.	.... 310 *pi*.	.... 29 *pi*..	... 56 ...	... 21 *pi*.
S. Paul de Londres.	.... 102. ...	... 253 ...	.... 26	... 26 ...	... 14
La Sorbonne.....	.... 38 ...	... 104 ...	.... 7	... 12 ...	 6
Le Val-de-Grace...	.... 51 ...	... 124 ...	..... 10 ...	... 14 ...	 8
Les Invalides....	.... 73 ...	... 182 ...	..... 11 ...	... 15 ...	... 10

Il résulte de tout ce que nous avons dit sur les proportions des supports des coupoles, que l'épaisseur des murs du tambour doit être au moins le dixiéme de leur diamétre intérieur ; que l'épaisseur des contre-forts, lorsqu'on en admet, roule du sixiéme au huitiéme de leur diamétre ; & qu'enfin la largeur des piliers destinés à porter un dôme

sur pendentifs, est, suivant les exemples, depuis le quatriéme de leur diamétre jusqu'au septiéme inclusivement, quelle que soit la nature de la voûte. Nous ne connoissons point de voûtes sphériques ou sphéroïdes de quelque étendue, dont les supports dérogent à ces régles générales : & nous ne croyons pas même qu'ils puissent y en avoir de contraires, parce qu'elles seroient opposées aux principes établis de l'équilibre & de la pesanteur, sur lesquels est fondée la solidité des bâtimens.

ARTICLE SECOND.

Preuves de la disproportion des piliers de l'Eglise de Sainte Génevieve, & du peu d'apparence d'y pouvoir élever une coupole avec solidité.

NOUS avons établi dans l'article précédent, les régles qui constituent la solidité des coupoles élevées sur pendentifs, & prouvé que le succès de leur construction dépend de la relation de leurs diverses parties, & sur-tout de la correspondance entre la largeur des piliers du rez-de-chaussée de l'Eglise avec l'épaisseur des contre-forts ou piédroits du tambour ; présentement nous allons nous attacher à apprécier, d'après ces principes, la construction de la coupole qu'il s'agit d'élever au centre de la nouvelle Eglise de Sainte Génevieve, & quelles doivent être les dimensions qui conviennent à ses supports.

Avant de procéder à cet examen, il est bon de prévenir le Lecteur qu'il ne doit point être étonné de ce que nous entreprenons de prononcer sur ce dôme, avant qu'il soit exécuté, ou que M. Soufflot, chargé de cet important ouvrage, ait jugé à propos de produire ses moyens de construction : car en y faisant attention, on s'apercevra qu'il n'est besoin, pour estimer d'avance l'exécution d'un pareil morceau, que d'avoir sous les yeux assez de déterminations, à l'aide desquelles on puisse parvenir à apprécier celles qu'on ignore. Il en est de ce problême comme de tous ceux de Géométrie, ce qui est connu combiné avec ses rapports, sert à déterminer la valeur de l'inconnue, & à manifester si cette derniere est réelle ou imaginaire : or le diamétre du dôme, & les dimensions des piliers qui doivent le porter, étant décidés, on va voir que ces données peuvent, sans erreur sensible, servir à déterminer ce qui reste à construire.

Chacun des piliers destinés à porter le dôme de Sainte Génevieve, n'a véritablement, dans le plan de l'Eglise, que 3 pieds, 9 pouces de largeur en retour sur les bras de la croix ; & vers les angles extérieurs de chaque pilier, on a engagé une colonne de 3 pieds, 6 pouces de diamétre par le bas, dont le centre saille en dehors de 3 pouces & demi, de sorte que l'engagement de chaque colonne est de près de 18 pouces.

Outre cette largeur, chaque pilier a d'épaisseur la distance qu'il y a d'un axe de colonne à l'autre, c'est-à-dire, 14 pieds, 8 lignes, avec un pan-coupé du côté du dedans du dôme, de 10 pieds & demi. *Fig. III.*

Si l'on considére encore ces piliers au regard de la force qu'ils peuvent opposer aux pendentifs, on remarquera qu'ils ont dix pieds d'épaisseur, depuis le milieu du pan-coupé jusqu'à la pointe opposée ; mais qu'à mesure qu'on approche des deux colonnes en retour des bras de la croix, vers le pli du pilastre, chaque pilier n'a, suivant la direction A B, *fig. III*, que 4 pieds, 3 ou 4 pouces d'épaisseur.

Les espacements des 4 piliers, & leur forme, font aussi connoître que le dôme projetté sera élevé sur des pendentifs saillants de plus de 6 pieds & demi, & aura 63 pieds de diamétre dans le haut, & que les arcades de la rencontre des bras de la croix auront 37 pieds 8 pouces d'ouverture ; de sorte qu'en leur supposant une hauteur double de leur largeur, proportion assez usitée en pareille circonstance, il s'ensuit que la coupole sera élevée sur des arcs ayant sous clef 77 pieds d'élévation environ (14).

Il est également aisé de décrire quelle sera la coupole. Tous les desseins, modèles, gravures, médailles, & les descriptions qui ont paru dans le public, ont toujours annoncé qu'il y auroit une tour de dôme, décorée en dehors de colonnes Corinthiennes, de 3 pieds de diamètre environ, distribuées, dans son pourtour, comme il est représenté en plan, *fig. V*, avec des avant-corps couronnés de fronton au-dessus des pendentifs, & qu'il n'entreroit point de charpente dans toute sa construction : cela étant bien constant, on ne pourra gueres donner d'élévation jusqu'à la derniere voûte de couronnement, moins de 2 diamétres $\frac{2}{3}$, pour avoir de la grace à l'extérieur : or, dans cette supposition, que les gens éclairés ne pourront disconvenir, devoir être plutôt en deçà

(14) Il n'est pas inutile d'observer que, relativement à la disposition du plan des bras de la croix, *fig. IV*, & au peu d'épaisseur des murs pour-tours de l'Eglise, leurs voûtes ne pourront être exécutées autrement qu'à la légére, & que par conséquent elles seront inutiles pour contreventer le bas de la tour du dôme.

de la vérité qu'au de-là, la décoration extérieure du tambour aura plus de 40 pieds d'élévation sans le piédestal. Les *fig. IV & II*, expriment en profil cet arrangement.

La courbe extérieure de la voûte du dôme seroit difficile à déterminer, si elle pouvoit être véritablement arbitraire. Dans une Gravure que l'Architecte a publié de son projet en mil sept cent cinquante-sept, lorsqu'il a mis la main à l'œuvre, on remarque deux voûtes demi-sphériques, dont la supérieure porte sur son sommet un piédestal, & l'inférieure un escalier. En jettant les yeux sur la *fig. II*, on s'appercevra que cet amortissement ne pouvoit manquer de paroître très-bas & très-écrasé en exécution. Ce fut vraisemblablement cette considération qui engagea l'Architecte à produire en 1764, une autre forme de couronnement tout opposée au-dessus de la tour, lequel se trouve consacré par la médaille frappée à l'occasion de la pose de la premiere pierre de ce monument : Il consiste aussi en deux voûtes, mais dont la supérieure est une ogive très-surmontée, formée par deux arcs au moins de 60 degrés, dont l'extrados est terminé par un plan droit couvert de gradins, au sommet desquels sera élevé une lanterne ou un grand piedestal en pierre, avec cinq figures colossales (15). Avant de passer à l'examen de cette construction qui a été annoncée pour être le vrai projet de l'Architecte ; ne pouroit-on pas faire plusieurs réflexions préliminaires, sur sa singularité. 1°. Ce couronnement est-il admissible pour terminer un Temple ? n'y a-t'il pas une forme analogue à sa destination & consacrée par l'usage de tous les tems & de tous les pays, dont on ne peut gueres s'écarter ? 2°. Est-il vrai que l'on puisse se promettre en exécution quelque succès du racourci produit successivement par la perspective de tous ces gradins, dont la largeur dérobera sans cesse à la vue la hauteur ? 3°. Puisque l'on fait tant que d'affecter en de-hors une tour de dome, d'où vient ne la pas répéter en dedans, à l'exemple de tout ce qui est approuvé en ce genre, pour donner de la grace & de la majesté à l'intérieur de cette Eglise, d'autant que ce défaut seroit facile à corriger en mettant à profit le vuide immense laissé sans aucun sujet, entre les deux voûtes ? 4°. En un mot, dans un morceau de décoration d'aussi grande importance, & fait pour annoncer aux siécles à venir la gloire de nos arts, est-ce là le cas de

(15) Dans le *VI Tome* de la derniere édition *des curiosités de Paris*, par Pigagnol, on trouve l'élévation de cet édifice donnée par l'Auteur. Deplus on sait qu'on en a montré publiquement pendant quelque tems un grand modèle en bois : & tous ceux qui connoissent l'Architecte, en ont vu des desseins exposés chez lui

facrifier la beauté de fon enfemble intérieur & extérieur, à un arrangement bifare qui n'a vraifemblablement été imaginé après coup, que dans l'efpérance de favorifer l'infuffifance des piliers pour porter une coupole comme à l'ordinaire ? Mais, fans nous arrêter dans des difcuffions qui, par leur nature, feroient capables d'occafionner de grands changemens dans cet ouvrage, bornons-nous à parler de fon exécution.

Il eft d'expérience qu'une voûte ogive ifolée, & formée par des arcs très-furmontés, dont l'extrados doit être terminée par un plan droit, n'eft point capable de porter fur fon fommet un poids confidérable, attendu que la courbe par fon grand allongement, fait alors dégénérer les arcs en des murs inclinés l'un vers l'autre, qui, outre qu'ils dirigent défectueufement l'action de la pefanteur du fardeau vers les fupports, forment encore un ventre vicieux à caufe de fon inégalité d'épaiffeur : auffi prend-on toujours en pareil cas le parti de fubftituer pour la folidité, un vrai cône ou une pyramide dont les côtés portent uniformément dans toute leur hauteur : les exemples font formels à cet égard. Ce n'eft pas tout, la force des fupports de cette prétendue coupole ne paroît pas plus aifé à juftifier que celle de fa courbe. Dans la *fig. II*, on voit en élévation des arcs doubleaux *a* rachetant des lunettes *b* dans la voûte fupérieure, à deffein fans doute de leur faire porter feuls tout le poids du couronnement, & de foulager en conféquence les parties de mur comprifes dans leur intervalle, & par leur difpofition *c* en plan *figure V*, on s'apperçoit que ces points d'appui capitaux auront à peine la même épaiffeur du mur, fans aucune faillie en dehors comme de coutume, & ne correfpondront ni vis-à-vis des colones, ni vis-à-vis des corps avancés X qui pouvoient les fortifier ; c'eft-à-dire que ce feront des arcs doubleaux qui feront la fonction de contre-forts fans en avoir la proportion, & qui, bien loin de fervir à fortifier la tour, fe trouveront au contraire plus foibles que le refte de fon mur. Cet arrangement paroît fi contradictoire à ce qui s'obferve d'ordinaire, que nous croyons inutile de nous y arrêter davantage.

C'eft pourquoi, au défaut de projets connus, véritablement raifonnés pour la décoration & la conftruction de cette coupole, nous ne pouvons dans notre examen nous difpenfer de nous en tenir à la maniere ufitée de terminer ces fortes d'ouvrages : & dans l'intention de confidérer la pouffée fous le point de vue le plus avantageux, bien que ce foit un fait conftant que le projet a toujours été jufqu'ici de couronner ce Mo-

nument par une double voûte, nous supposerons qu'il n'y en aura qu'u-ne seule extérieure, construite en briques, d'une courbe approuvée capable de faire un bon effet au-dessus de la tour en dedans & en dehors, en un mot, approchante de celle proposée par Fontana d'après les meilleurs modèles, avec deux pieds d'épaisseur réduite au droit de la demie-voûte, ce qui ne feroit qu'environ 18 pouces vers le col du piédestal ou de la lanterne. Nous avons rendu raison, dans l'article précédent, de cette épaisseur qui est démonstrative par la pratique & la théorie.

Ainsi le diamétre du dôme étant connu, la hauteur de sa tour, l'épaisseur & la forme d'une de ses voûtes par approximation, il sera aisé, à l'aide de ce qui a été dit dans l'article précédent, de trouver les puissances en équilibre avec la poussée, & ensuite de décider si les gros piliers de l'Eglise ont les dimensions requises pour porter sûrement cet ouvrage.

Attachons-nous d'abord à trouver les résistances qu'il conviendra d'opposer à l'action de la coupole. Fera-t'on les murs de la tour uniformément épais dans tout leur pourtour, ou bien y distribuera-t'on des contre-forts vers lesquels on rejettera son poids & sa poussée?

Dans le premier cas, nous avons vu qu'il y avoit deux façons de déterminer cette épaisseur. Si l'on adopte la régle de Fontana fondée sur tous les exemples, laquelle indique de donner le dixiéme du diamétre intérieur à l'épaisseur de la tour, il faudra 6 pieds, 4 pouces, attendu qu'il est de 63 pieds. Si l'on se sert au contraire des principes établis pour la poussée, dont il a été fait précédemment l'application à la même voûte, nous avons prouvé qu'il falloit au moins 6 pieds d'épaisseur de mur; lesquelles mesures données par la pratique & la théorie étant approchant les mêmes, il s'ensuit qu'en se servant réciproquement de preuves, elles manifestent bien clairement qu'on ne sauroit donner, pour obtenir une solidité suffisante, moins de 6 pieds, 3 ou 4 pouces aux piédroits de la tour du dôme de Sainte Genevieve.

Mais ce ne sera pas assez de donner une épaisseur convenable à la tour, elle ne pourra se soutenir qu'autant que l'on contreventera son pied à cause du changement du plan circulaire en celui d'un octogone irrégulier; & comme il n'est pas possible de s'aider pour cela des voûtes des bras de la croix, vu qu'elles ne peuvent être exécutées qu'à la légére, il conviendra d'employer, soit des contre-forts, soit des arcs-boutans, soit de bons empatemens. En supposant, comme une circonstance très-favorable

vorable, que les colones destinées à décorer le dehors du tambour seront à demi-engagées, & que les 2 pieds dont elles augmenteront, y compris la saillie de leur base, l'épaisseur du piédestal au-delà des 6 pieds 4 pouces, seront suffisants pour cela, il est évident que l'épaisseur vers le pied sera d'environ 8 pieds 4 pouces. Nous disons comme une circonstance très-favorable, parce que 2 pieds d'empatement ne doivent pas paroître assez pour accoter les fondations du piédroit d'une voûte de 10 toises $\frac{1}{2}$ de diamétre. Personne n'ignore que dans tous les bâtimens, on donne d'ordinaire de largeur, sans même y avoir de voûte, la moitié en sus de l'épaisseur du mur hors de terre : or, suivant cette régle, le mur qui soutiendra la coupole en question devant être de plus de 6 pieds, il lui faudroit au-delà de 9 pieds d'épaisseur dans le bas & non 8 pieds 4 pouces.

Il est à observer que l'épaisseur du mur que nous venons de fixer, ne regarde que les parties du dôme correspondantes aux grands arcs, & qu'à plomb des pendentifs qui auront plus de 6 pieds $\frac{1}{2}$ de saillie, le projet est d'y joindre des corps avancés, tant pour contre-balancer le poids extraordinaire porté en bascule en cet endroit, que pour lier la tour avec les gros piliers. On peut voir dans la *fig. V, pl. I & II*, la distribution extérieure de ce plan qui est d'accord dans son pour-tour avec la décoration annoncée par les desseins & la médaille, & qui, à l'épaisseur des murs près que nous avons fixé au dixiéme du diamétre suivant la régle, ne sauroit s'écarter du plan de l'Architecte.

Dans le second cas, où l'on desireroit des contre-forts distribués autour du tambour, procédé que nous estimons préférable au précédent, à cause de l'étendue du dôme & des raisons déduites dans l'article I; pour parvenir à connoître leur épaisseur, il seroit à propos de calculer l'effort que la portion de voûte correspondante peut opérer contre chacun : mais comme la disposition extérieure du plan porte à croire que ce n'est pas l'intention de l'Architecte,& qu'il préférera des murs d'une épaisseur uniforme au-dessus du vuide des bras de la croix, à dessein de favoriser le peu de largeur de ses piliers, nous nous bornerons à envisager cette partie de la tour sous ce point de vue dans tout le reste de ce Mémoire.

Passons maintenant à l'examen des dimensions des piliers qui doivent porter la coupole. Le piédestal de la tour devant être soutenu par la clef des arcs formant la réunion des bras de la croix & sur les pendentifs le long des petits côtés de l'octogone, il est constant qu'on ne peut se

dispenser de donner à ces points d'appui une largeur & une épaisseur en rapport avec le fardeau. De crainte de confondre, examinons d'abord quelles doivent être les proportions des gros piliers en retour le long des bras de la croix, pour porter le dôme, & ensuite nous verrons celles qui leur sont nécessaires vis-à-vis des pendentifs.

Premierement, la partie de la tour correspondante à la clef des arcs ayant 8 pieds 4 pouces, il faudra donc construire ces arcs en bonne pierre dure à cause du grand fardeau qu'ils porteront, & leur donner à chacun environ 9 pieds de largeur, de même qu'aux retours des bras de la croix destinés à leur servir de piédroits, conformément aux préceptes de l'art de bâtir, qui exigent que ce qui est porté s'éléve en retraite au-dessus de ce qui porte. Mais ce ne seroit pas assez que ces piédroits eussent une largeur suffisante, il leur faudra encore une épaisseur qui les fortifie, de maniere à contreventer sûrement ce qu'ils auront à soutenir, &, vû l'immensité de la charge qui sera de plusieurs millions de livres pesant, il est à propos que cette épaisseur soit pleine, entiere, & sans aucun vuide capable d'altérer sa force. Les piédroits ayant 57 pieds d'élévation, l'arc étant un plein ceintre de 38 pieds de diamétre avec trois pieds de hauteur de clef, laquelle hauteur est assurément la moindre que l'on puisse donner en semblable rencontre, on trouve par les calculs 8 pieds 9 pouces pour l'équilibre, & qu'en faisant entrer en considération l'épaisseur des reins de cet arc, qui contribuera à le fortifier, & le poids de la partie de la tour portant sur sa clef, ce pilier aura besoin d'une épaisseur uniforme de 12 à 13 pieds : or on voit par l'examen du plan des piliers de cette Eglise, que leur largeur est seulement de 3 pieds 9 pouces ; par conséquent elle n'est donc point faite pour recevoir un arc de 9 pieds de largeur, dont on ne peut se passer pour soutien de la tour du dôme, & il lui manque 5 pieds 3 pouces, sur 13 pieds d'épaisseur, pour remplir cet objet. Quant à la colonne engagée dans l'angle que nous n'avons pas considéré comme faisant partie du pilier, il est évident qu'elle ne lui procure qu'une apparence factice de largeur au-delà des 3 pieds 9 pouces ; par la raison que la largeur du piédroit d'une voûte est nulle, à moins qu'il n'ait en même tems dans toute sa hauteur une épaisseur suffisante pour résister à la poussée ; & comme il n'y pas d'épaisseur de mur derriere la partie de la colonne qui n'est pas engagée, il résulte qu'elle ne sauroit contreventer une portion d'arc correspondante, & que la saillie de la colonne n'est qu'un masque incapable d'augmenter la force du pilier.

Secondement, si l'on compare l'épaisseur de ce pilier, du côté de l'intérieur du dôme, avec la saillie des pendentifs, on s'appercevra par le plan que, comme ils auront plus de 6 pieds & demi d'encorbellement le long du petit-côté de l'octogone, ils seront obligés de porter au moins 14 pieds de longueur de la tour sur 40 pieds de hauteur sans la voûte. Il n'est pas douteux que ce poids énorme tendra également de son côté à renverser le pilier, à moins qu'il ne soit d'une force convenable. Dans les exemples, cette épaisseur se trouve souvent 2 à 3 fois plus considérable que la saillie des pendentifs respectifs; c'est pourquoi, dans le cas actuel, en supposant l'épaisseur du pilier une fois & demie la saillie des pendentifs, c'est-à-dire 10 pieds, nous ne pouvons être suspect d'exagération : or le pilier en question a véritablement au droit du sommet du triangle à peu près l'épaisseur désignée; mais à mesure qu'on approche de ses deux autres angles, cette épaisseur diminue au point que vers le pli du pilastre AB, *fig. III*, à peine se trouve-t-il 4 pieds 3 pouces. On demeurera de plus en plus convaincu que cette dimension n'a point de rapport avec la force qu'exige un encorbellement de plus de 6 pieds & demi, chargé d'un gros mur, en faisant attention comment porte le plan de la tour du dôme; car on s'appercevra qu'au-dessus de ces piliers, il y aura des espéces de contre-forts X, *fig. V*, qui, à cause de leur manque de proportion, excéderont leur massif, & que comme, entre ces contre-forts, il y aura une croisée Z, l'effort de la tour sur les pendentifs agira uniquement sur les parties foibles du pilier, parce que le vuide répondant à sa plus grande épaisseur, celle-ci deviendra inutile pour sa solidité. Il arrivera delà que l'effort de la masse de la tour sur les pendentifs, à raison de leur appareil, tendra de part & d'autre à écarter les naissances des arcs, lesquels étant supposés assez solides, détruiront l'action dans ce sens; mais il en restera un autre qui tendra à faire glisser la partie du pendentif excentriquement, & à renverser le piédroit suivant cette direction, à cause des joints verticaux dont les coupes tendront par le plan vers l'axe du dôme. Cette derniere action fera donc son effort sur les parties foibles du piédroit AB, *fig. III*, comme si elle étoit appliquée à un levier plus grand que la hauteur du pilier, & dont la longueur se détermineroit par l'intersection d'une perpendiculaire qui lui seroit menée du bas extérieur dudit pilier; or il est évident qu'un poids de 500 milliers, qui sera au moins celui de la partie du dôme qui répondra à ces endroits foibles, agissant en bascule sur un levier

de plus de 60 pieds, ne trouvera pas une résistance assez grande dans l'épaisseur 4 pieds 3 pouces du pilier, puisque nous avons vu ci-devant, qu'une partie de voûte de 38 pieds d'ouverture & de 3 pieds d'épaisseur de clef, agissant de la même maniere sur des piédroits de 57 pieds de hauteur, a donné 8 pieds 9 pouces pour l'équilibre; donc il faudroit plus de 8 pieds 9 pouces vers le pli du pilastre pour résister; & il n'y a réellement que 4 pieds 3 pouces. Cette reflexion, jointe à la précédente, prouve clairement l'insuffisance de ces supports pour porter un dôme, & qu'ils se déroberont de tous côtés à son effort, au lieu de s'y opposer, comme il seroit nécessaire.

Pour faire sentir, indépendamment de tous les raisonnements, le peu d'apparence de pouvoir faire soutenir une coupole sur ces piliers, quelle que soit la nature de sa voûte ou de ses voûtes, il n'y a qu'à, d'une part, placer sur leur plan celui de la tour de l'Eglise en question, avec les épaisseurs de mur & la saillie du piédestal, faisant ensemble 8 pieds 4 pouces, *fig. V;* & d'une autre part, appliquer aussi le plan de la tour de tous les dômes que l'on jugera à propos, sur celui de leur rez-de-chaussée; alors on demeurera persuadé qu'autant il y a de correspondance dans tout ce qui est exécuté en ce genre entre leurs supports respectifs, pour former de bons empattements capables de favoriser la solidité, autant le dôme de Sainte Génevieve, dont le plan de la tour excédera de toutes parts les piliers sera arrangé contradictoirement à ces ouvrages (16). Ce qui frappera sur-tout, sera de voir que les largeurs des piliers des dômes élevés sur pendentifs, ont toutes un certain rapport avec leur diamétre, lequel rapport s'étend, comme il a été dit dans l'article précédent, depuis le quart jusqu'au septiéme au plus, tandis que la largeur du pilier de l'Eglise dont il s'agit, n'est que le seiziéme de son diametre.

En effet le dôme de Saint Pierre a 127 pieds de diamétre, avec des piliers de 29 pieds de largeur.

Le dôme de Saint Paul de Londres a 102 pieds, & des piliers de 26 pieds de largeur.

Le dôme du Val-de-Grace à Paris a 51 pieds, & des piliers au moins de 10 pieds de largeur.

LUCRECE *Liv. IV.* v. 516, a décrit en beaux Vers que l'on diroit faits exprès pour le sujet que nous traitons, & qui peuvent très-bien lui convenir pour Epigraphe, ce que l'on doit attendre d'une semblable construction.

... In Fabricâ, si prava est regula prima,
Normaque si fallax rectis regionibus exit;
Et libella aliquâ, si ex parte claudicat hilum,
Omnia mendosé fieri, atque obstipa necessum est;
Prava, cubantia, prona, supina, atque obsona tecta,
Jam ruere, ut quædam videantur velle, ruantque;
Prodita judiciis fallacibus omnia primis.

Le dôme de la Sorbone a 38 pieds, & des piliers de 7 pieds de largeur.

Le dôme des Invalides a 73 pieds, & des piliers de 11 pieds de largeur (17) : &, par proportion à ces modèles & à ceux qu'il plaira y joindre, le dôme de Sainte Génevieve, qui sera de 63 pieds de diamétre, n'aura que des piliers de 3 pieds 9 pouces. On peut voir dans les *figures VI, VII, VIII, IX, X & XI. Pl. II*, les rapports des plans des tours de dôme de ces Edifices, avec ceux des gros piliers destinés à les porter.

Ajoutez à ces comparaisons que les piliers de tous ces exemples sont accotés par les murs des bras de la croix, des bas-côtés & des séparations des Chapelles, au lieu que ceux de l'Eglise en question sont isolés au milieu de colonnades, & sans pouvoir tirer de secours direct de toutes les parties adjacentes : il est nécessaire, qu'à cause de leur position, ils fassent à la fois la fonction de piles & de culées, & qu'ils se suffisent absolument à eux-mêmes, soit pour porter, soit pour contre-buter la voûte du dôme : circonstances tellement désavantageuses qu'elles auroient dû engager à augmenter les dimensions qu'on a coutume de donner à ces piliers, plutôt que de les tenir deux & trois fois moins considérables.

Voilà donc le pilier bien prouvé n'avoir par lui-même aucun rapport avec l'action que le dôme doit opérer contre lui, soit au droit des arcs, soit au droit des pendentifs, c'est pourquoi il ne nous reste plus qu'à faire voir si, au défaut de force réelle, on peut se flatter du moins de lui procurer des secours véritables de quelqu'une de ses parties adjacentes.

Espérera-t-on tirer des forces du pan-coupé V, *fig. VI.* du mur extérieur, & y établir des arc-boutans suffisants (18) pour contenir l'effort de la tour au droit du petit-côté de l'octogone ? mais cela feroit

(17) Voici encore quelques proportions de piliers portant des coupoles que nous nous rappellons.

La coupole de l'Eglise de Saint Georges à Venise, exécutée par Palladio, a environ 36 pieds de diamétre, & des piliers de 7 pieds en quarré pour la porter.

La coupole de l'Eglise de Saint Nicolas de Tolentin à Rome, a 31 pieds & 10 pieds de largeur de pilier.

La coupole de l'Eglise neuve des Peres de l'Oratoire, aussi à Rome, a 47 pieds de diamétre, & des piliers de 10 pieds de largeur.

(18) Des Arc-boutans placés ainsi derriere l'encorbellement, feroient d'ailleurs d'un bien foible secours, attendu qu'il n'est point question ici de contenir seulemenr une poussée de voûte ordinaire, mais de soutenir à la fois l'effort d'un corps de Maçonnerie immense, agissant de tout son poids perpendiculairement & en bassecule : ce ne sont que des massifs cubiques directs qui puissent contrebalancer ce fardeau, & opérer un effet efficace dans cette circonstance & non un arc-boutant Il ne faudroit que faire nn profil au droit du pli du pilastre pour s'en convaincre.

contraire à une bonne conſtruction. Quelle ſolidité en effet pourroit-on attendre d'un mur ouvert de toutes parts dans une hauteur de 36 pieds, d'abord au rez-de-chauſſée par un large corridor qui réduit l'épaiſſeur du mur de dehors à environ 2 pieds, puis au-deſſus par 3 grandes croiſées qui décompoſent ſa force dans d'autres ſens, comme on en peut juger par le plan? A-t-on jamais vu juſqu'ici le piédroit d'un contre-fort ou arc-boutant, deſtiné, nous ne diſons pas à contreventer l'action d'un dôme, mais d'une voûte quelconque, évidé comme un coffre? Son eſſence n'eſt-elle pas d'être un maſſif, un véritable cube, en un mot, une vraie jambe ſous-poutre que rien ne doit altérer? Se permettroit-on ſeulement de poſer la moindre ferme de charpente dans un bâtiment ordinaire à plomb du vuide d'une croiſée? & n'affecte-t-on pas toujours au contraire de la placer ſur un trumeau? Donc à plus forte raiſon un arc-boutant de l'importance dont il s'agit demande-t-il d'être élevé ſur un plein? Il n'y a perſonne qui ne puiſſe décider la nullité d'un pareil point d'appui.

Envain prétendroit-on encore augmenter la largeur du pilier par le haut, en propoſant d'avancer juſqu'à la colonne d'angle C, *fig. III*, les murs Y, *fig. VI*, placés au-deſſus de la file des colonnes, à deſſein de leur faire contrebuter une largeur de 18 pouces de l'arc au-delà des 3 pieds 9 pouces; car, indépendamment de ce que le pilier ſe trouveroit alors plus épais par le haut que par le bas, ce qui ſeroit contraire à la conſtruction ordinaire de tous les bâtiments, laquelle s'élève toujours en retraite, il eſt aiſé de s'appercevoir que par leur nature, ces murs n'auront pas la ſolidité convenable pour remplir cet objet. En effet, ces murs Y, devant être percés dans leur hauteur par les croiſées T, T, T qui éclaireront les voûtes des bras de la croix, ainſi que par les entrées des tribunes, & de plus étant guindés à 40 pieds de terre ſur des plate-bandes, il n'eſt pas concevable comment dans cet état de foibleſſe, ils pourroient faire l'office de contre-forts; & ſi c'étoit l'intention de l'architecte, il auroit fallu du moins aſſurer toutes les extrémités de chacun d'eux par de bons piédroits, & n'en pas excepter: car, ſi l'on ſuit le plan des deux files de colonnes qui aboutiſſent au chevet de l'Egliſe, on s'apercevra que vers ce chevet, il ne ſe trouve au rez-de-chauſſée aucun mur dans leur direction pour les recevoir, c'eſt-à-dire que bien-loin de pouvoir contenir une partie de l'arc, à l'aide de ces deux murs, à peine ſeront-ils en état de ſe ſoutenir eux-mêmes vers leurs extrémités.

Mais, quand bien même on ſuppoſeroit, contre toute apparence de ſolidité, que ce mur pût ſervir à contreventer 18 pouces de l'arc au-delà de la largeur du pilier, comme nous avons fait voir que cet arc feroit d'obligation d'avoir 9 pieds, il eſt manifeſte qu'il y aura toujours une partie d'environ 3 pieds 9 pouces, qui débordera la colonne ſur 14 pieds, dont le ſupport ne ſauroit être juſtifié.

Peut-être alléguera-t-on, que pour obvier au défaut de proportion des piliers, on conſtruira le grand arc en pierre de toute la largeur de l'entre-colonnement, au lieu de le borner à l'épaiſſeur de la tour; mais la grande difficulté ſera de faire porter les reins de cet arc; & ſi, dans l'impoſſibilité manifeſte de les faire aſſeoir directement ſur le plafond de l'entre-colonne, on s'aviſoit par le moyen de quelque lunette W, *fig. IV & VI*, faiſant une eſpéce de voûte d'arrête ou d'arceau en décharge, d'ouvrir leſdits reins pour rejetter le poids à droite & à gauche ſur les colonnes, alors il n'y auroit plus de ſolidité. Car c'eſt l'épaiſſeur ſeule des reins qui peut faire en cette circonſtance toute la force de cet arc, & qui le rendra capable de réſiſter à la charge immenſe qu'il aura à ſoutenir. Ce ſeroit une erreur de croire pouvoir traiter un arc de cette conſéquence comme une voûte légére qui ne doit rien porter, & où l'on peut ſe permettre toutes ſortes de percés. Ne déſaprouveroit-on pas le projet de pratiquer de larges ouvertures dans le flanc de la culée d'un pont, comme devant lui ôter ſa réſiſtance; or notre cas eſt tout ſemblable; l'arc joint au pilier eſt, vû ſa poſition, une véritable culée deſtinée à ſoutenir & contre-buter tout le poids du dôme. Propoſer de l'évider, ce ſeroit vouloir lui ôter toute ſa force, & le mettre hors d'état de remplir l'objet propoſé: auſſi ne ſubſiſte-t-il aucun exemple de conſtruction où l'on en ait uſé de cette maniere. On a reproché à Bramante d'avoir pratiqué de petits eſcaliers au milieu des gros piliers de l'Egliſe de S. Pierre: les premiers Mathématiciens & Architectes d'Italie aſſemblés en 1743, pour aviſer aux moyens de remédier aux lézardes qui s'étoient ouvertes de toutes parts dans la tour du dôme de Saint Pierre, les attribuerent unanimement au petit corridor E, *fig.* *, *pl. I*, pratiqué dans le grand piédeſtal qui éléve la tour. Mais, ſuivant l'arrangement que nous diſcutons, la circonſtance ſeroit bien autrement grave, puiſque c'eſt la voûte même de l'arc qui doit porter ſur ſa clef le dôme de Sainte Génevieve, dont il s'agiroit d'ouvrir ou de ſupprimer la plus grande partie des reins, & cela préciſément dans l'endroit W, où ſe fera la principale action de la

poussée. Cette réflexion seule peut convaincre qu'un pareil moyen, ne pouvant être admissible, il y a conséquemment impossibilité de faire porter l'arc d'une maniere solide, au-delà de la largeur du pilier sur l'entre-colonnement (19).

On pourroit ajouter, s'il en étoit besoin, la spéculation du peu d'ap-

(19) Nous ne parlerons pas des arcs placés en enfoncement le long des bras de la croix, bien qu'ils paroissent pouvoir contribuer à accôter dans ce sens les piliers par le haut, par la raison que la lunette W étant décidée inexécutable, leur utilité ne sauroit être réelle.

Comme quelqu'un pourroit être porté à croire qu'à l'aide de cercles de fer placés autour d'une coupole, il seroit aisé de diminuer sa poussée, & conséquemment l'épaisseur de ses soutiens, il ne sera pas inutile de faire voir ce que l'on peut espérer à cet égard. Le fer ne doit jamais être employé dans un édifice destiné à passer à la postérité, comme un agent principal, & pour suppléer à des empattements, à des contre-forts, à des épaisseurs de murs; mais il doit toujours être employé au contraire, comme un moyen précaire, un moyen de surérogation, & une surabondance de force. La raison en est que, par sa constitution, il n'est pas fait pour être de longue durée; la rouille l'altère au bout d'un tems, & passe même, en augmentant son volume, pour faire éclater la pierre où il se trouve renfermé. Les mouffles qui lient les tirans sont toujours un endroit très-foible; ses pores se resserrent ou s'étendent suivant le chaud ou le froid. D'ailleurs il n'est pas vrai que le fer acquiert de la consistance à raison de sa grosseur: il s'en faut bien qu'un barreau double du volume d'un autre, ait pour cela le double de force. Les expériences prouvent à la vérité qu'un fil de fer rond d'une ligne de diamétre, (**) bien étiré, peut soutenir un effort d'environ 490 liv. pesant; mais elles font voir aussi que dans un barreau de 18 lignes de gros, par exemple, chaque élément d'une ligne quarrée de fer ne résiste gueres en commun qu'à un effort de 40 livres pesant, & que cet effort diminue toujours à proportion que la grosseur du barreau augmente. Cette grande diminution de force provient de ce que plus les fers acquierent de diamétre, plus il devient difficile de les forger, & de condenser avec le marteau suffisamment leur intérieur.

Il n'y a pas de construction de dôme où l'on n'employe quelques cercles de fer: on en met au col de la coupole, vers son imposte, & quelquefois aussi vers son milieu, mais cela n'empêche jamais qu'on ne place des murs ou contre-forts suffisants pour contenir la poussée, & qu'on ne donne sur-tout une bonne épaisseur au retour des piliers le long des bras de la croix: on ne connoît point d'exemples où l'on en ait usé autrement. Lors de la construction de la coupole de Saint Pierre de Rome, il fut mis quatre forts cercles de fer indépendamment de ses 16 contre-forts de 21 pieds d'épaisseur; & malgré ces précautions, on sait qu'elle s'est lézardée de toutes parts: autour du dôme de Saint Paul de Londres, il y en a plusieurs; mais cela n'a pas empêché qu'on ne l'ait contreventé par 24 contre-forts arc-boutés par des éperons: on a vu aussi que Fontana indique de mettre trois cercles de fer O dans la partie inférieure d'un dôme.

Les cercles de fer dont on environne une coupole, ont principalement pour objet de résister à la premiere impulsion de la poussée, lorsqu'on lâche la voûte de dessus les ceintres; de donner le tems au mortier de bien faire sa prise, ainsi qu'à toutes les parties de la construction d'opérer sa compression, de se convenir réciproquement, de prendre peu-à-peu leur faix & leur direction vers les contre-forts, ou les points d'appui capitaux; ils ne peuvent avoir d'autre fonction. C'est la perfection de l'appareil des pierres, l'excellence du mortier, la bonne proportion des supports, & leur relation avec la poussée des voûtes qui doit faire la force d'un édifice dont on veut éterniser la durée: en user autrement, la faire dépendre absolument d'une force artificielle, comme est celle d'un cercle de fer, ce seroit sans doute compromettre sa solidité.

(**) Voyez les expériences de Musembrock dans sa *Physique*, & celles de M. de Buffon, dans l'*Art du Serrurier*, publié par l'Académie Royale des Sciences.

parence

parence de pouvoir faire porter sur deux colonnes la plus grande partie de l'arc chargé du dôme. En effet, comment se persuader que des colonnes de pierre de 3 pieds de diamétre dans le haut, & surtout celle qui est tout à fait isolée, dont les tambours ne sont pas même entretenus entre eux par aucun axe de fer, comme de coutume, soient en état de soutenir & de contrebuter un tel fardeau, sans que les tambours s'écrasent, ou au moins se dérangent par l'effort même de la poussée qui agit toujours à raison de la longueur des leviers, tandis que l'on voit de très-gros massifs être à peine suffisants pour remplir cet objet (20).

Récapitulons le nombre des porte-à-faux qui ont passé en revue successivement, à l'occasion de l'insuffisance des piliers, pour soutenir une coupole.

4 . . Porte-à-faux Z, *fig. V*, occasionnés par le support de la tour en encorbellement au droit des petits-côtés de l'octogone, comme de coutume.

4 . . Porte-à-faux formés par le ventre S, *fig. V & VI*, de la tour, qui ne peut être contre-venté en aucune maniere vis-à-vis des voûtes des bras de la croix, à cause de leur construction à la légere & du manque de largeur des piliers.

8 . . Porte-à-faux au-delà du massif des piliers, occasionnés par chacun des angles X, *fig. V*, des corps avancés de la tour du dôme.

8 . . Porte-à-faux sur les entre-colonnements W, *fig. VI*, soit qu'on leur fasse porter la retombée des reins des arcs, soit qu'on supprime lesdits reins.

2 . . Porte-à-faux de la part des deux murs Y, *fig. VI*, placés sur des platebandes du côté du chevet de l'Eglise, lesquels n'ont dans leur direction, vers leurs extrémités, aucun corps pour les recevoir.

4 . . Porte-à-faux V, *fig. VI*, sous les piédroits des arcs-boutants que l'on pourroit croire indispensables pour contenir l'effort des pendentifs.

Total 30 Porte-à-faux.

C'est présentement qu'on doit sentir la vérité de ce que nous avons

(20) Il y auroit une réflexion très-importante à faire sur la colonne d'angle C, *fig. III*, qui est engagée dans le pilier; c'est qu'au lieu d'augmenter la force de l'arc, comme on pourroit être porté à le croire, elle servira à l'affoiblir, à cause de sa position singuliere : car elle obligera de diviser son intrados Z, *fig. IV*, & de le faire ressauter de plus de 2 pieds au droit de la clef, qui est le point d'appui capital de la coupole, tandis que l'intérêt de la construction d'un arc aussi chargé demanderoit au contraire que tous ses voussoirs fussent réunis, tant par le haut que par le bas, pour ne point décomposer sa force. Les constructeurs conviendront qu'un tel resaut ne sauroit être que préjudiciable en cette rencontre.

avancé dans notre *Avant-propos*. Le bas de la tour du dôme de Ste Génevieve ayant été prouvé ne pouvoir avoir moins de 8 pieds d'épaisseur, & la largeur du pilier, destinée à le porter, ne pouvant évidemment être secourue que par des porte-à-faux, il s'ensuit donc que le cas reste tout semblable à celui d'un mur isolé de 3 pieds, 9 pouces d'épaisseur, & de 80 pieds de haut, auquel nous l'avons comparé; sur lequel on proposeroit de construire un mur de plus de 8 pieds d'épaisseur & de 40 pieds d'élévation, avec l'obligation de faire encore soutenir, à l'extrémité de ce dernier, la poussée d'une ou de deux grandes voûtes : la parité est la même.

Enfin, en voyant l'insuffisance démontrée des piliers élevés, peut-être croira-t'on, qu'en faisant le sacrifice de la coupole annoncée, ainsi que de la décoration de tout le morceau milieu, l'on pourroit y substituer une calotte ou un cul-de-four; mais, outre que ce seroit détruire la grace extérieure de cet édifice, & tromper l'attente du public à cet égard, il n'y auroit pas beaucoup à gagner dans ce nouvel arrangement. Toute la difference seroit que les arcs, au lieu de porter la tour du dôme, contreventeroient directement, au droit de leur clef, la poussée de la voûte du même dôme: cela ne pouvant être autrement, il faudroit donc que ces arcs, & par conséquent les retours des piliers qui les recevroient, eussent la largeur déterminée par les formules pour résister à cette action, c'est-à-dire au moins 7 pieds. Le seul moyen de se passer de cette largeur, seroit de faire ensorte de reporter l'effort de la poussée du cul-de-four le long des voûtes des bras de la croix, jusqu'aux murs qui les terminent, ainsi qu'on le pratique d'ordinaire (21); mais alors il seroit nécessaire de construire ces voûtes d'une certaine épaisseur dans toute leur longueur en forme de berceau, & non à la légére, comme on ne peut s'en dispenser. Or cette construction de voûte en berceau n'est pas praticable à Sainte Génevieve, tant à cause des colonnes qu'il faudroit ajouter dans les retours des bras de la croix, pour supporter le berceau, que par rapport à l'obligation où l'on se trouveroit de contenir son action par des piliers-butans appuyés contre les murs pourtours de l'Eglise, lesquels ne sont aucunement disposés, non plus que leurs fondations, pour en recevoir. C'est pourquoi les voûtes des bras de la croix ne pouvant, à raison de

(21) Dans les Eglises de Saint Sulpice, de Saint Roch à Paris, & dans toutes celles où l'on a élevé des calottes ou des voûtes en cul-de-four au centre des bras de la croix, on peut remarquer que c'est de cette façon qu'on a contreventé la poussée, & cela ne sauroit être autrement, à moins de donner aux piliers une épaisseur suffisante.

la forme du plan, être construites d'un bout à l'autre d'une force suffisante pour résister à une poussée, & faire l'office d'un contrefort horisontal, on ne peut pas plus faire contreventer un cul-de-four par la largeur 3 pieds 9 pouces des piliers de l'Eglise dont il s'agit, que leur faire porter un dôme.

CONCLUSION.

AINSI, de quelque façon que l'on veuille considérer l'exécution de la coupole promise au centre de l'Eglise de Sainte Génevieve, il seroit difficile de la justifier ; la pratique & la théorie, les exemples mis en parallele, & les démonstrations Mathématiques s'accordent à prouver que les piliers déjà élevés sont d'une disproportion trop manifeste pour la porter; qu'ils se déroberont de tous côtés dans le bas à son poids & à sa poussée, au lieu de former des empattemens, & de s'élever en laissant de bonnes retraites au pied de la tour, comme la solidité le requiert; qu'en outre la masse cubique qui leur manque ne sauroit être suppléée par les parties environnantes, vû qu'elles sont trop foibles, toutes évidées dans leur hauteur ou en porte-à-faux; & qu'en un mot pour soutenir l'effort d'une coupole de 63 pieds de diamétre, placée sur pendentifs, il faudroit que les supports en question eussent tout au moins 9 pieds de largeur à la place de 3 pieds 9 pouces. Mais à combien plus forte raison sera-t-on persuadé de l'insuffisance de ces piliers, si l'on fait attention que nous n'avons considéré que la poussée d'une seule voûte, & qu'il doit y en avoir deux suivant le projet, agissantes contre les mêmes piédroits. Enfin, il faudroit condamner la construction de tous les ouvrages célébres exécutés en ce genre, pour approuver les proportions des supports de celui-ci, & dire que les Michel-Ange, les Fontana, les Wren, les Mansards, & tous les habiles constructeurs qui ont fait des coupoles, ne se sont point douté de la force qu'il falloit pour les soutenir; puisque, comparée à celle des piliers destinés à porter le dôme de l'Eglise de Sainte Génevieve, ces derniers se trouvent toujours proportionnellement deux & trois fois moins considérables que les autres. C'est aux Savants & aux Constructeurs instruits à prononcer sur cet objet important, qui intéresse trop la gloire de nos arts & la sureté publique, pour pouvoir être regardé avec indifférence (22).

(22) Nous invitons ceux qui entreprendroient de répondre à ce Mémoire, de ne point donner pour raison, des conjectures ou des opinions particuliéres, mais de suivre à peu-près notre marche, c'est-à-dire d'appuyer ce qu'ils avanceront, par des faits en paralelle

PROBLEME.

Une voûte en berceau de 63 pieds de diamètre, Fig. IV, ſurmontée d'un 12e. avec 24 pouces d'épaiſſeur réduite pour la partie ſupérieure f d de la voûte, & des piedroits de 36 pieds de hauteur, étant donnée, trouver par l'application de la formule $\sqrt{\frac{2bgnn}{af} - \frac{2dnn}{f} + \frac{4n^2n^2}{ff}} - \frac{2nn}{f} = y$, quelle eſt la puiſſance en équilibre avec ſa pouſſée.

SOLUTION.

Soit la voûte b f t d de 63 pieds de diamètre, ſon épaiſſeur réduite deux pieds, ſon rayon 36 pieds 9 pouces, & la hauteur n p du piedroit 36 pieds.

Il faut ſçavoir que pour parvenir à l'équation $\sqrt{\frac{2bgnn}{af} - \frac{2dnn}{f} + \frac{4n^2n^2}{ff}} - \frac{2nn}{f} = y$ dont il s'agit de faire l'application: 1°. il a été tiré du centre K' de l'un des arcs, les droites K' d & K' f; l'une à l'interſection des deux arcs, l'autre au point c, milieu de l'arc b d : 2°. que l'on a abaiſſé du point l, milieu de f c, la perpendiculaire l u, ſur le diamètre b G: 3°. que par ce même point l, on a mené une autre perpendiculaire l k, ſur l'axe d H, de la voûte, dont le prolongement rencontre en m, celui n p du piedroit.

L'on a appellé l k (*a*): b u (*d*) : n p (*f*) : m p (*g*), & la ſurface f c d t qui tend à écarter le piedroit, (*nn*). C'eſt donc en découvrant les valeurs de ces analytiques, au moyen des données de notre problême, que nous aurons l'expreſſion cherchée de *y*.

K' d & K' H étant connues dans le triangle rectangle H K' d, on aura par les méthodes, la valeur de l'angle H K' d, qui dans ce cas eſt de

joints à des démonſtrations: car, en pareille matiere ce ne ſont que ceux qui prouvent, qui méritent attention. On vient de nous aſſurer qu'il alloit paroître dans le Mercure une lettre d'un ami de M. Soufflot, où il eſt dit qu'il prendra pour modèle de l'exécution de ſon dôme, les procédés gothiques : mais jamais les Goths dont on admire avec raiſon la légéreté de pluſieurs de leurs ouvrages, n'ont connu les conſtructions des coupoles ſur pendentifs; jamais ils n'ont rien entrepris de comparable pour la hardieſſe à ces chefs-d'œuvres d'induſtrie. Des fardeaux auſſi conſidérables portés en l'air ſur quatre points, demandoient trop d'études, de connoiſſances & de combinaiſons, pour avoir été le fruit de ſiécles où l'on ne ſavoit ni lire ni écrire, & encore moins calculer. L'on ſait que c'eſt à la renaiſſance des Arts & des Sciences qu'eſt due la perfection de cette découverte faite ſous Juſtinien. Cette remarque ſuffit pour faire voir le peu d'égard que méritera une Apologie ſans vraiſemblance, deſtituée de faits homogenes & de preuves démonſtratives.

81 dégrés 47 m. $\frac{1}{3}$; sa moitié, 40 dégrés 53 m. $\frac{2}{3}$ sera celle de l'angle I K′ u. L'on connoîtra donc dans cet autre triangle I K′ u, les trois angles & l'hippotenuse ; ainsi il est facile de trouver par la Trigonométrie côtés K ü & I u. En retranchant K′ H de K′ ü, on aura la valeur de H u, & par conséquent de I k qui lui est égal : en ôtant aussi K′ u de K′ b, on aura la valeur de b u : enfin, par la comparaison des triangles semblables K′ u l & k l q, on obtiendra la valeur de k q.

On connoîtra la surface *n n* qui reste, en cherchant d'abord la surface de la couronne entiere, ensuite en retranchant le cercle qui auroit K′ c pour rayon, de celui dont le rayon seroit K f ; & enfin faisant la proportion, 360 dégrés est à 40 dégr. 53 m. $\frac{2}{3}$, valeur de l'arc c d ou c b, comme la couronne est à la partie f c d t (*nn*) = 1 toise 2 pieds 11 pouces 9 lig. 10 points.

Ainsi par toutes ces opérations, on trouvera que a = 3 toises 5 pieds 3 pouc. 5 lign. : que b = 3 toif. 2 pi. 1 pouc. 11 lig. 4 p. : que d = 1 t. 2 pi. 2 pouc. 5 lig. : que f = 6 toises : que g = 10 toif. 0 pi. 8 po. 6 li. : & que $n\,n$ = 1 toise 2 pieds 11 pouces 9 lignes 10 points.

En faisant les produits de l'équation, on découvrira que

$$\frac{2\,b\,g\,n\,n}{a\,f} = 4^{\text{toif.}}\ 2^{\text{pi.}}\ 2^{\text{pouc.}}\ 10^{\text{li.}}\ 2^{\text{po.}}\ 7$$

$$\frac{2\,d\,n\,n}{f} = 0 \ldots 4 \ldots 1 \ldots 2 \ldots 5 \ldots 8$$

$$\frac{4\,n\,n^2}{ff} = 0 \ldots 1 \ldots 5 \ldots 11 \ldots 3$$

$$\frac{2\,n\,n}{f} = 0 \ldots 2 \ldots 11 \ldots 11 \ldots 3.$$

Par conséquent $\sqrt{\frac{2bgnn}{af} - \frac{2dnn}{f} + \frac{4nn^2}{ff}} = \sqrt{3^{\text{to.}}\ 5^{\text{pi.}}\ 7^{\text{pou.}}\ 6^{\text{li.}}\ 11^{\text{po.}}\ 9}$; ou bien égale 1 toise 5 pieds 10 pouc. 10 lign. dont il faut retrancher 0 toif. 2 pi. 11 pouc. 11 lig. 3 points, valeur de $\frac{2\,n\,n}{f}$; & le reste 1 toise 2 pieds 10 pouc. 11 lig. 4 points sera l'épaisseur qu'il conviendra de donner pour l'équilibre aux piedroits de la voûte en berceau.

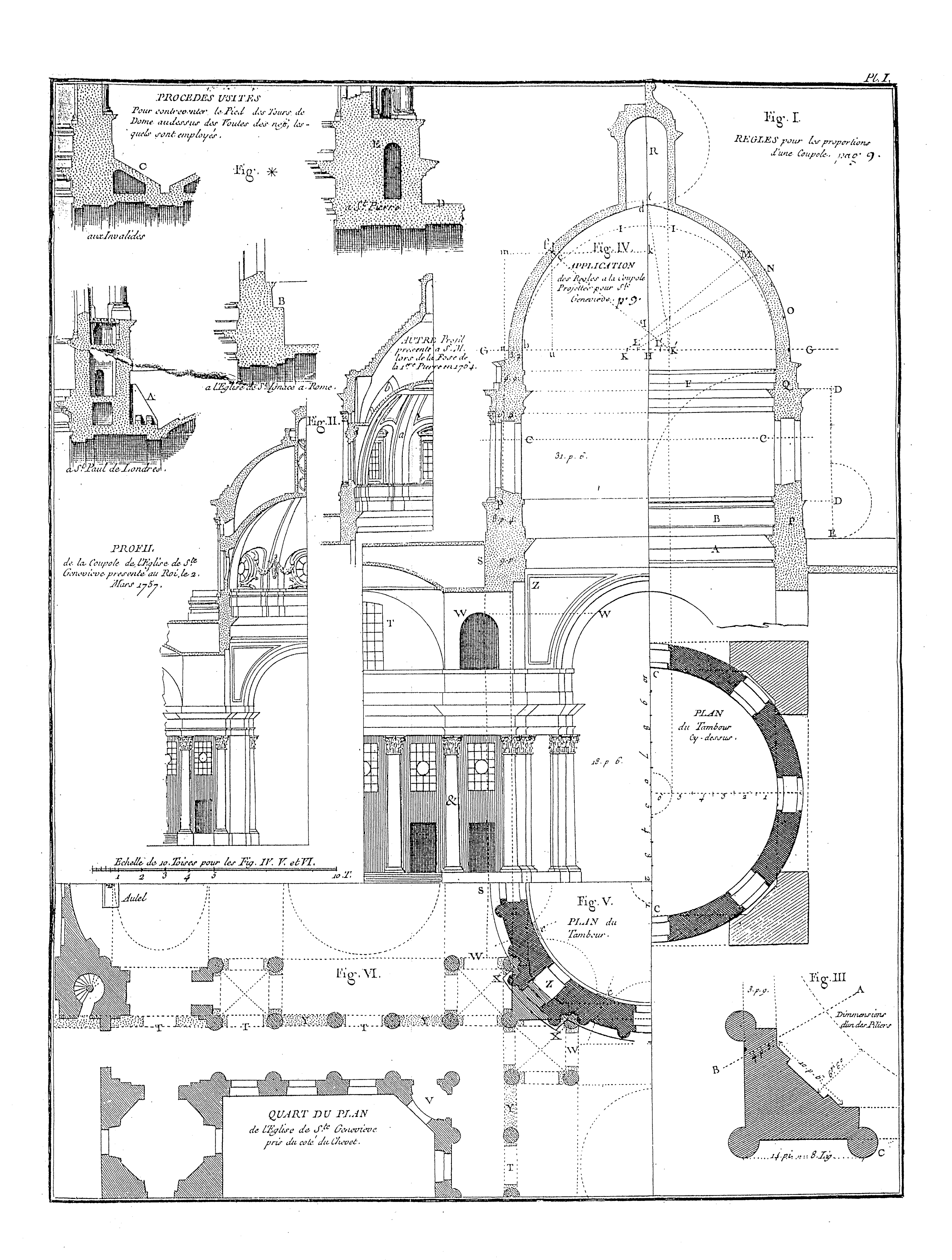
Mais comme l'on sçait que les voûtes sphériques dont l'arc droit est circulaire, ainsi que les voûtes sphéroïdes dont l'arc droit est elliptique surhaussé ou sur-baissé, poussent environ la moitié moins que celles en berceau de même nature, diamètre, épaisseur, & en un mot qui sont con-

ditionnées de même ; il s'ensuit que pour connoître l'épaisseur des pié-droits de la voûte sphéroïde, qui est l'objet de notre examen, il faut prendre la moitié de 1 toise 2 pieds 10 pouces 11 lignes 4 points ; & l'on aura 4 pieds 5 pouces 5 lignes 8 points pour la puissance en équilibre avec la poussée de cette voûte ; ce qu'il falloit démontrer.

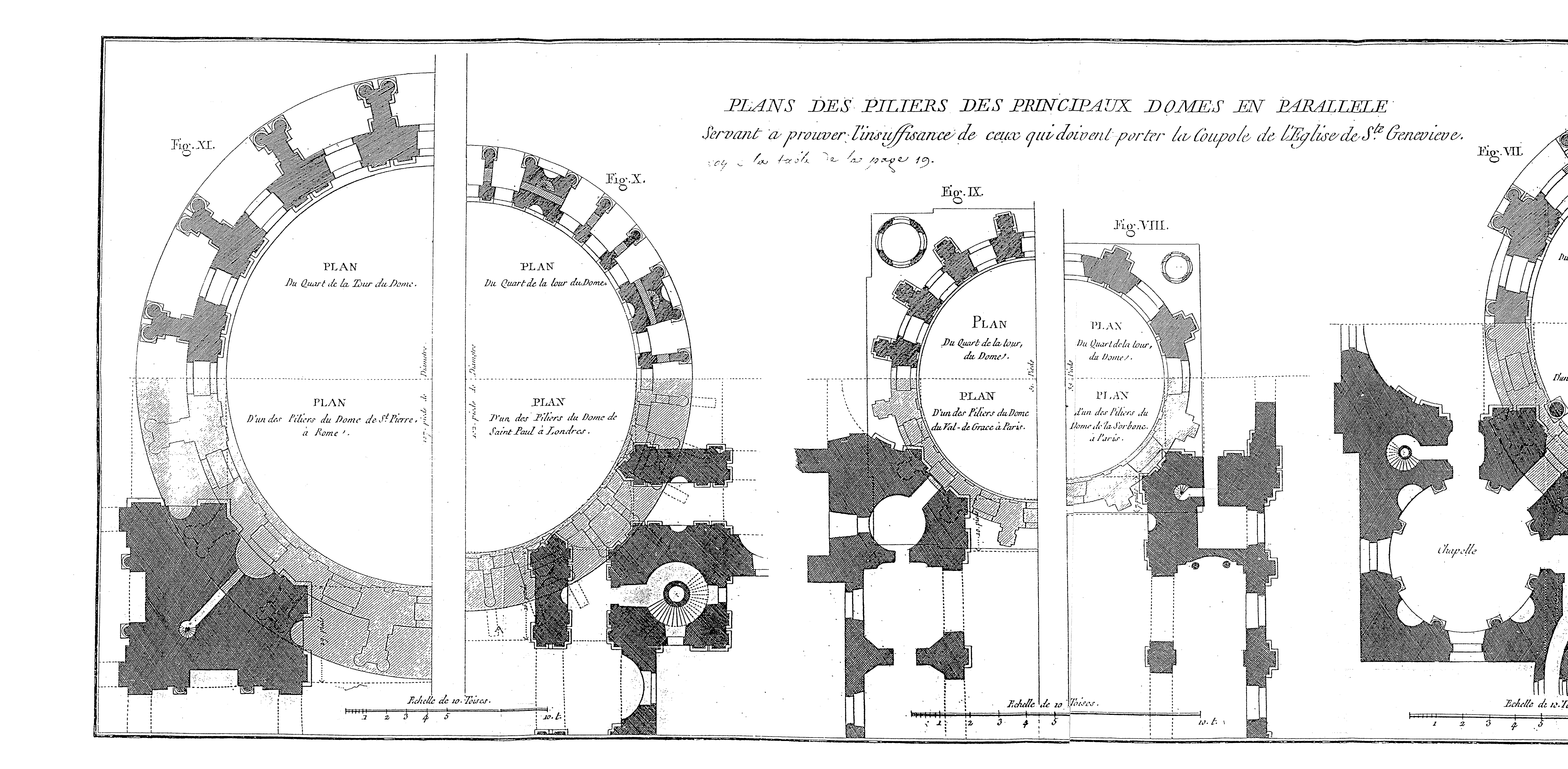
FIN.

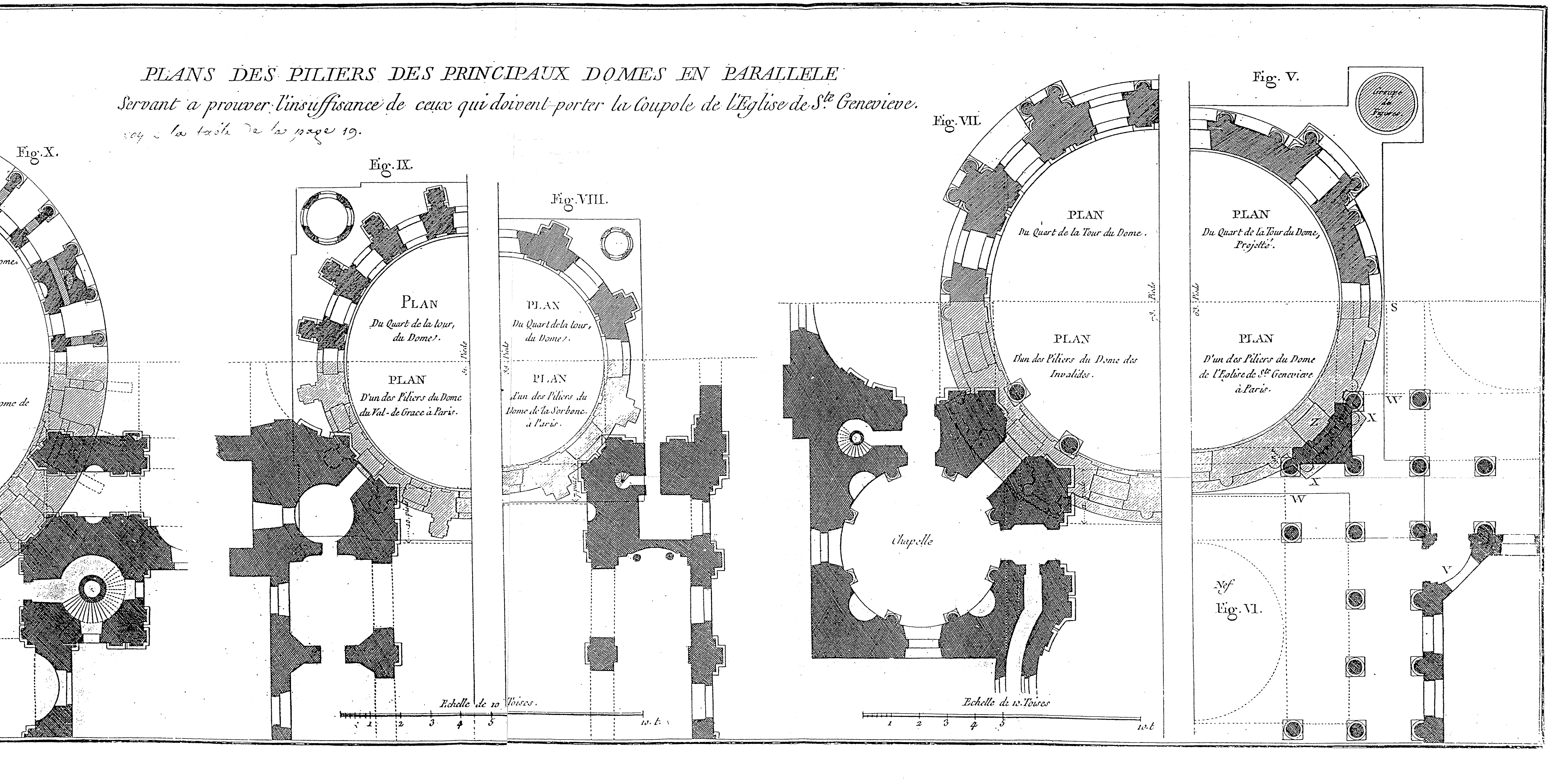
ERRATA.

Page 17, dernier mot de la Note, aulieu de *Bon*, lisez *Bonani.*
Page 18, ligne 2 de la Note, cet, *lisez* cette.
Page 22, ligne 23, deslination, *lisez* destination.
Page 23, ligne 23, no s'aperçoit, *lisez* on s'aperçoit.
Page 28, au bas de la Note, aulieu de *maque si*, lisez *Normaque si.*



Pl. I.
PROCEDES USITES
Pour contrevanter le Pied des Tours de Dome audessus des Voutes des nefs, lesquels sont employés.
Fig. *
aux Invalides
a S.t Pierre
a l'Eglise de S.t Ignace a Rome
a S.t Paul de Londres.
AUTRE Profil presenté a S. M. lors de la Pose de la 1.re Pierre en 1764.
Fig. II.
PROFIL de la Coupole de l'Eglise de S.te Genevieve presenté au Roi, le 2. Mars 1757.
Fig. I.
REGLES pour les proportions d'une Coupole. pag. 9.
Fig. IV.
APPLICATION des Regles a la Coupole Projettée pour S.te Genevieve. p. 9.
31. p. 6.
18. p. 6.
PLAN du Tambour Cy-dessus.
Echelle de 10. Toises pour les Fig. IV. V. et VI.
1 2 3 4 5 10 T.
Autel
Fig. VI.
Fig. V.
PLAN du Tambour.
Fig. III
Dimmensions d'un des Piliers
14. pi. ... 8. Toi.
QUART DU PLAN de l'Eglise de S.te Genevieve pris du coté du Chevet.


PLANS DES PILIERS DES PRINCIPAUX DOMES EN PARALLELE
Servant a prouver l'insuffisance de ceux qui doivent porter la Coupole de l'Eglise de S.te Genevieve.
voy. la table de la page 19.
Fig. XI.
PLAN
Du Quart de la Tour du Dome.
PLAN
D'un des Piliers du Dome de S.t Pierre, à Rome.
Fig. X.
PLAN
Du Quart de la tour du Dome.
PLAN
D'un des Piliers du Dome de Saint Paul à Londres.
Fig. IX.
PLAN
Du Quart de la tour, du Dome.
PLAN
D'un des Piliers du Dome du Val-de Grace à Paris.
Fig. VIII.
PLAN
Du Quart de la tour, du Dome.
PLAN
D'un des Piliers du Dome de la Sorbone, à Paris.
Fig. VII.
Chapelle
Echelle de 10 Toises.
Echelle de 10 Toises.
Echelle de 10 Toises.


PLANS DES PILIERS DES PRINCIPAUX DOMES EN PARALLELE
Servant a prouver l'insuffisance de ceux qui doivent porter la Coupole de l'Eglise de Ste. Genevieve.
Fig. X.
Fig. IX.
PLAN
Du Quart de la tour, du Dome.
PLAN
D'un des Piliers du Dome du Val-de Grace à Paris.
Fig. VIII.
PLAN
Du Quart de la tour, du Dome.
PLAN
D'un des Piliers du Dome de la Sorbone. à Paris.
Echelle de 10 Toises.
Fig. VII.
PLAN
Du Quart de la Tour du Dome.
PLAN
D'un des Piliers du Dome des Invalides.
Chapelle
Echelle de 10 Toises.
Fig. V.
PLAN
Du Quart de la Tour du Dome, Projetté.
PLAN
D'un des Piliers du Dome de l'Eglise de Ste. Genevieve à Paris.
Nef
Fig. VI.